



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Übersetzung der
europäischen Patentschrift

97 EP 0 684 106 B 1

10 DE 695 16 035 T 2

5 Int. Cl. 7:
B 24 B 37/04
B 24 B 19/22
C 23 C 16/56

- 21 Deutsches Aktenzeichen: 695 16 035.4
5 Europäisches Aktenzeichen: 95 302 845.3
36 Europäischer Anmeldetag: 27. 4. 1995
97 Erstveröffentlichung durch das EPA: 29. 11. 1995
97 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: 5. 4. 2000
41 Veröffentlichungstag im Patentblatt: 31. 8. 2000

30 Unionspriorität:

13377394 23. 05. 1994 JP
16591494 24. 06. 1994 JP

72 Patentinhaber:

Sumitomo Electric Industries, Ltd., Osaka, JP

41 Vertreter:

Grünecker, Kinkeldey, Stockmair & Schwanhäuser,
80538 München

84 Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB, NL

72 Erfinder:

Tanabe, Keiichiro, Itami-shi, Hyogo, JP; Ikegaya,
Akihiko, Itami-shi, Hyogo, JP; Seki, Yuichiro,
Itami-shi, Hyogo, JP; Fujimori, Naoji, Itami-shi,
Hyogo, JP

54 Verfahren zum Herstellen eines mit hartem Material bedeckten Halbleiters

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 695 16 035 T 2

DE 695 16 035 T 2

Europäische Patentanmeldung Nr.: 95 302 845.3-1262

Anmelder: Sumitomo Electric Industries, Ltd.

BESCHREIBUNG

Diese Erfindung bezieht sich auf einen mit einem harten Material beschichteten Wafer und auf ein Verfahren zum Herstellen desselben.

Der Hartmaterialwafer wird für SAWs (Surface Acoustic Wave-Vorrichtungen beziehungsweise oberflächenakustische Wellenvorrichtungen), Thermistoren, Substrate für Halbleitervorrichtungen, Schutzfilme für Scheiben beziehungsweise Discs und Röntgenstrahlenfenster verwendet. Hierbei bezeichnet „harte Materialien“ allgemein Diamant, c-BN, oder diamantähnlicher Kohlenstoff. Alle diese Materialien, die hier zitiert sind, besitzen eine Vickershärte von mehr als Hv3000 in dem Zustand von Grundmaterialien. Die harten Materialien sind mit einer hohen Schallausbreitungsgeschwindigkeit ausgestattet, die durch das Verhältnis von Young'schem Modul, dividiert durch die Dichte, bestimmt ist. Deshalb ist die Geschwindigkeit der akustischen Oberflächenwelle extrem hoch. Insbesondere ziehen mit harten Materialien beschichtete Wafer die Aufmerksamkeit als Material für das Substrat von SAW-Vorrichtungen auf sich. SAWs besitzen Anwendungen für Filter, Phasenverschiebeeinrichtungen oder Convolver. Diamant und c-BN, die Isolatoren sind, können zu Halbleitern umgewandelt werden, indem sie mit einigen Verunreinigungen dotiert werden.

Diese Materialien sind durch exzellente physikalische und chemische Eigenschaften favorisiert. Allerdings sind diese Materialien nicht auf verschiedenen Gebieten zur praktischen Verwendung eingesetzt worden, da große und kostengünstige Platten, oder Wafer, dieser Materialien nicht bisher hergestellt werden können. Da die harten Materialien mit einer Anzahl physikalischer und chemischer Vorteile ausgestattet sind, sind tatsächliche Anwendungen der Materialien für verschieden Gegenstände ernsthaft durch Übertragen der Technologie von Siliziumhalbleitervorrichtungen auf harte Materialien erwünscht. Dasjenige, was an erster Stelle hergestellt werden sollte, sind große Platten (oder Wafer) aus den harten Materialien.

Technologien sind bereits zu dem definierten Niveau, zum Herstellen von Filmen aus Diamant, c-BN (cubisches Bornitrit) oder diamantähnlichem Kohlenstoff, durch Dampfphasenniederschlagsverfahren entwickelt worden. Das Dampfphasenniederschlagsverfahren stellt einen Film des Materials durch Zuführen eines Materialgases zu einem passenden Substrat, erwärmt auf eine geeignete Temperatur, wobei dem Gas ermöglicht wird, mit dem heißen Substrat zu reagieren und einen Film des harten Materials auf dem Substrat in der Dampfphase niederzuschlagen, her. Ein Film aus Diamant oder c-BN wird durch Einführen eines Materialgases, das Wasserstoffgas und Kohlenwasserstoffgas umfaßt, oder eines anderen Materialgases, das Wasserstoffgas, Bor enthaltendes Gas und Stickstoff enthaltendes Gas umfaßt, in die Reaktionskammer, Zuführen des Materialgases auf das erwärmte Substrat, Synthetisieren von Diamant oder c-BN durch eine chemische Reaktion und Anhäufen des synthetisierten Materials als ein Film auf dem Substrat hergestellt.

Es sind einige Verfahren zum Anregen des Materialgases vorhanden, das bedeutet ein Heizfaden-CVD-Verfahren, ein Mikrowellenplasma-CVD-Verfahren, ein Radio- bzw. Funkwellenplasma-CVD-Verfahren oder ein DC-Plasmastrahl-CVD-Verfahren. Einige Verfahren sind zum Herstellen eines breiten Films aus harten Materialien auf einem Substrat geeignet. Allerdings ist die Geschwindigkeit der Synthese so niedrig, daß das Verfahren nicht leicht derzeit einen dicken Film herstellen kann. Eine lange Zeit eines Niederschlagens, das sich auf einige Verfahren bezieht, kann einen beträchtlich dicken Film auf dem Substrat herstellen.

Allerdings ist dabei kein reiner Wafer vorhanden, der nur aus einem harten Material, frei von einem Substrat, besteht. Derzeit ist kein Diamant-Wafer oder ein c-BN-Wafer in einer nennenswerten Bedeutung vorhanden, da eine bisherige Technologie nicht in der Lage gewesen ist, einen reinen Diamant-Wafer oder einen reinen c-BN-Wafer herzustellen. Die Anwendungen der harten Materialien, d. h. Diamant, c-BN oder diamantähnlicher Kohlenstoffe, bei der Elektroniktechnologie erfordert Wafer mit einem großen Flächenbereich aus den harten Materialien. Es wurden einmal akustische Oberflächenwellenvorrichtungen auf sehr kleinen Diamant-Substraten hergestellt.

Allerdings war die Tatsache, daß eine neue Vorrichtung auf einem sehr kleinen Diamant-Substrat hergestellt wurde, z. B. mit 5 mm im Quadrat bis 10 mm im Quadrat, sehr unwesentlich vom Standpunkt der Industrie aus gesehen, sogar dann, wenn die Vorrichtung

selbst eine ausgezeichnete Eigenschaft zeigte. Da ein kleines Substrat ermöglichte, nur eine kleine Anzahl von Vorrichtungen darauf herzustellen, war die Produktivität schlecht. Die Vorrichtungen, die auf dem kleinen Substrat hergestellt wurden, besaßen nur eine geringe, praktische Bedeutung aufgrund der schlechten Produktivität.

Dasjenige, was Siliziumhalbleitervorrichtungen zum Erfolg geführt hat, ist die Möglichkeit einer Behandlung eines Si-Wafers mit einem großen Flächenbereich durch dieselben Wafer-Prozesse zur selben Zeit und die Herstellung einer Menge äquivalenter Vorrichtungen in einer kurzen Zeit. Dasselbe wird vielleicht für harte Materialien gelten. Falls Diamant, c-BN oder diamantähnlicher Kohlenstoff eine praktische Bedeutung als Substrate erlangen wollen, sollte das Material, in großen dünnen Platten (Wafer) gebildet werden. Das Vorhandensein von großen Wafers wird Herstellern ermöglichen, die Technologie, die durch die Siliziumhalbleiter entstanden sind, auf harte Materialien anzuwenden. In dem Fall von Silizium können große Einkristalle mit einem breiten Querschnitt leicht durch Czochralski-Verfahren angewachsen werden und hauptsächlich werden Wafer mit 8 Inch zum Herstellen von Vorrichtungen derzeit hergestellt. Wafer mit 12 Inch können nun auch für Silizium hergestellt werden.

Allerdings kann ein Diamant oder ein c-BN-Einkristall nicht durch herkömmliche Verfahren, z. B. durch Czochralski-Verfahren, derzeit angewachsen werden. Demzufolge wird es nicht vielversprechend sein, homogene Wafer herzustellen, die nur aus einem Einzelmateriale der harten Materialien, anders als Silizium (Si) oder Galliumarsenid (GaAs), bestehen. Es ist gänzlich unmöglich, große, homogene Diamant-Wafer oder c-BN-Wafer, auch derzeit, herzustellen.

Diese Erfindung gibt den Versuch zum Herstellen eines homogenen, großen Wafers, der nur aus einem Einzelmateriale eines Diamants, c-BN's oder aus diamantähnlichem Kohlenstoff besteht, auf. Anstelle des Beginnens mit dem Einkristall als Grundmaterial beginnt diese Erfindung mit einem Substrat anderer Materialien zum Herstellen komplexer Wafer die aus einem Substrat aus nicht hartem Material und Filmen aus hartem Material, gebildet auf dem Substrat, bestehen. Die vorliegende Erfindung sieht vor, einen Film aus hartem Material auf einem herkömmlichen Material, z. B. Si, GaAs, usw., herzustellen, das leicht produziert oder erhalten werden kann. Die Komplexität eines Substrats plus eines Films aus hartem Material gibt Herstellern die Möglichkeit zum Herstellen eines großen Wafers aus hartem Material durch Einsetzen eines Wafers mit einer großen Basis als ein Substrat.

Der Basis-Wafer aus nicht hartem Material spielt die Rolle der Grundbefestigung, auf der das Ergebnis der Reaktion aufgeschichtet wird. Der Film auf dem Basis-Wafer ist der grundsätzliche Teil, der zu der Produktion von Halbleitervorrichtungen oder SAWs beitragen wird.

Wenn ein homogener Wafer, der nur aus reinem Diamant oder c-BN besteht, durch Bilden eines sehr dicken Films auf dem Substrat und durch Beseitigen des Substrats durch Ätzen hergestellt werden kann, dann ist dies allerdings unpraktisch, da es eine sehr lange Zeit und sehr viel Material, um so eine dicke Schicht niederzuschlagen, benötigt. Eine große, innere Spannung würde den Film brechen, wenn das Substrat weggeätzt wird. Deshalb verbleibt die Herstellung eines freistehenden Films als eine nicht praktikable Aufgabe.

Diese Erfindung befaßt sich selbst mit dem komplexen, inhomogenen Wafer, der den Basis-Wafer als einen Wafer aus nicht hartem Material besitzt. Der verbleibende Basis-Wafer verursacht kein Problem, da nahezu alle Vorrichtungen Gebrauch nur von der Art der Oberfläche des Wafers machen. Diese Erfindung setzt einen nicht homogenen, komplexen Wafer, der eine Oberfläche aus Si oder GaAs auf dem Boden und eine Diamant- oder c-BN-Oberfläche auf der Oberseite besitzt, ein. Die Anpassung des komplexen Wafers kann die Schwierigkeit eines Herstellens eines großen Einkristalls als Grundmaterial aus den harten Materialien beseitigen, da komplexe Wafer durch die Dünnschichtbildungstechnologie hergestellt werden können. Der Ausdruck „Wafer aus hartem Material“ in der vorliegenden Erfindung ist sehr unterschiedlich zu den gewöhnlichen Wafers, die durch scheibenmäßiges Unterteilen eines Ingots aus einem Einkristall als Grundmaterial hergestellt werden. Die Wafer, die durch die vorliegende Erfindung vorgeschlagen sind, sind zu den Siliziumwafern oder den Galliumarsenidwafern in den Herstellverfahren unterschiedlich.

Diese Erfindung besitzt ein anderes Erfordernis der Wafer aus hartem Material. Wie zuvor erwähnt ist, hat man schon versucht, akustische Oberflächenwellenvorrichtungen auf einem Diamant-Substrat mit 3 mm im Quadrat oder 5 mm im Quadrat herzustellen. Ein solcher Versuch kann eine bestimmte Bedeutung vom Standpunkt der Technologie aus haben. Allerdings war ein solches kleines Substrat nutzlos zum Herstellen von Vorrichtungen im industriellen Maßstab. Die industrielle Produktion erfordert Zirkularität, konstante Dicke, Flachheit, nicht gebogen zu sein und große Durchmesser für Substrat-Wafer.

In Bezug auf den Flächenbereich eines Wafers erfordert die Anwendung für Elektronikmaterialien große, kreisförmige oder rechteckige Wafer von einem Durchmesser von

zumindest einem Inch (25 mm). Wafer mit einem Durchmesser geringer als ein Inch können nicht durch den Wafer-Prozeß behandelt werden, der durch die Siliziumhalbleiter-Industrie praktiziert wird. Weiterhin ist ein Wafer mit einem Durchmesser von zwei Inch besser als ein Wafer mit einem Durchmesser von einem Inch. Wafer mit einem Durchmesser von drei Inch sind noch bevorzugter als Wafer mit einem Durchmesser von zwei Inch vom Standpunkt der industriellen Produktion aus gesehen, was große, flache und glatte Wafer wünschenswert macht.

Glücklicherweise ermöglicht es der Fortschritt der Technologie der Dampfphasensynthese, einen beträchtlich breiten Film aus Diamant oder c-BN auf einem geeigneten Substrat herzustellen. Allerdings liefert die bloße Möglichkeit des Bildens großer Dünnschichten nicht die Wahrscheinlichkeit zum Herstellen von großen Wafern, die für den Wafer-Prozeß geeignet sind. Die Wafer, die zerklüftete, beziehungsweise grobe Oberflächen besitzen, sind nutzlos. Eine Glattheit der Oberfläche ist eines der Erfordernisse für Wafer. Daneben ist Flachheit oder nicht gebogen zu sein ein anderer, wesentlicher Gegenstand. Ein Wafer aus hartem Material muß nämlich ein Spiegelwafer ohne Biegung oder Wölbung sein. Hierbei bedeutet Flachheit eine lange, bereichsmäßige Regelmäßigkeit einer Oberfläche. Ein Biegen oder eine Wölbung zeigt einen langen Bereich einer Unregelmäßigkeit einer Oberfläche an. Eine Glattheit ist als ein kurzer Bereich einer Regelmäßigkeit oder Zerklüftetheit definiert oder Rauigkeit zeigt einen kurzen Bereich einer Unregelmäßigkeit mit einer Menge konvexer oder konkaver Ausbildungen auf einer Oberfläche.

Der Wafer muß spiegelglatt und flach sein, um Vorrichtungen auf dem Wafer durch Fotolithographie herzustellen. Wenn der Wafer nicht flach oder nicht spiegelglatt ist, können exakte Muster nicht auf dem Wafer durch eine optische Einrichtung gezeichnet werden. Die Filme, die durch den Dampfphasenniederschlag hergestellt sind, besitzen eine Menge mikro-konvexer oder mikro-konkaver Ausbildungen auf der Oberfläche. Eine wellige Morphologie wird manchmal auf der Oberfläche des Films in einem Fall gebildet. In anderen Fällen verteilen sich granulare, konvexe Ausbildungen auf der Oberfläche des Films. Allgemein können die Filme, die durch Dampfphasenniederschlag hergestellt worden sind, nicht als ein Substrat-Wafer aufgrund der Zerklüftetheit der Oberfläche verwendet werden. Wenn ein Wafer unter einer zerklüfteten Oberfläche leidet, könnte der Wafer in einen Spiegelwafer durch Beseitigen der Zerklüftetheit von der Oberfläche mit einer Poliervorrichtung umgewandelt werden. Das Polieren würde die konvexen Ausbildungen, die kon-

kaven Ausbildungen oder die wellige Morphologie aus der Oberfläche entfernen, und würde einen flachen, glatten Wafer herstellen. Tatsächlich werden in dem Fall von Silizium-wafern Spiegelwafer durch scheibenmäßiges Unterteilen eines Si-Ingots in eine Menge von Wafern im geschnittenen Zustand, Ätzen der Wafer im geschnittenen Zustand und Polieren der geätzten Wafer durch eine Poliervorrichtung hergestellt. Kann dieselbe Behandlung flache, glatte, mit einem harten Material beschichtete Wafer herstellen? Nein, dieselbe Behandlung ergibt keine glatten Wafer. Das Polieren der harten Materialien besitzt einige Probleme, die bis jetzt noch nicht berücksichtigt worden sind.

Da die konvexen oder konkaven Ausbildungen der Oberfläche des mit hartem Material beschichteten Wafers durch Polieren entfernt werden würden, muß der Ausgangsfilm eine ausreichende Dicke haben, einschließlich einer Marge für ein Polieren. Es nimmt eine lange Zeit und viel Material In Anspruch, um einen dicken Film aus den harten Materialien herzustellen. Die Schwierigkeit ist ökonomisch, die durch Auswählen eines zufriedenstellenden Materials und Zeit zum Anwachsen des Films überwunden werden würde.

Ein anderes, großes Problem ist die Schwierigkeit eines Polierens der harten Materialien. Die harten Materialien gestalten einen Film, um ihn zu polieren, zu hart.

Diamant und c-BN sind die härtesten Materialien. Die Schwierigkeit eines Polierens von diesen ist weitaus ernsthafter als das Polieren von Silizium-Wafern. Diamant oder c-BN wird durch Diamantpulver als ein abrasives Mittel poliert. Das Polieren wird manchmal als das „Zusammen-Polieren“ bezeichnet, da Diamantpulver Diamant durch Reduzieren von sich selbst bei dem Polieren abschabt. Eine lange Zeit eines Zusammen-Polierens kann Oberflächen aus Diamant-Kristallen polieren. Das Problem der Härte kann durch das Zusammen-Polieren gelöst werden.

Allerdings existiert ein noch schwierigeres Problem. Die thermischen Expansionskoeffizienten sind zwischen dem mit hartem Material beschichteten Film und dem Substrat aus nicht hartem Material sehr unterschiedlich. Der komplexe Wafer mit dem Film und dem Substrat wird eine große, innere Spannung aufgrund der Differenz in den thermischen Expansionskoeffizienten haben, wenn der komplexe Wafer in einer Reaktionskammer hergestellt und gekühlt wird. Der komplexe Wafer wird sich aufgrund der Freisetzung der inneren Spannung biegen, wenn er aus der Reaktionskammer herausgenommen wird.

In einem Fall biegt sich der komplexe Wafer konvex zu der Seite des Films hin. In einem anderen Fall biegt sich der komplexe Wafer konkav zu der Seite des Substrats hin. In ei-

nem anderen Fall verbleibt der Wafer insgesamt flach. Die Richtungen einer Biegung werden nun in Bezug auf die Seite des Films definiert. Die Waferbiegung wird durch die Richtungen einer Biegung klassifiziert. Die Biegung, die konvex zu dem Film hin ist, wird als „konvexe Verzerrung“ bezeichnet. Die Biegung, die konkav zu dem Film hin ist wird als „konkave Verzerrung“ bezeichnet. Das Problem der Verzerrung ist noch in dem Fall von kleinen Platten latent. Keine Verzerrung tritt für kleine, komplexe Platten von z. B. 3 mm im Quadrat oder 5 mm im Quadrat auf.

Die vorliegende Erfindung zielt darauf, komplexe Wafer mit einem Durchmesser von 1 Inch, einem Durchmesser von 2 Inch, und von noch größerem Durchmesser herzustellen. Eine große Biegung tritt in dem komplexen Wafer aufgrund der Differenz der thermischen Expansionskoeffizienten oder der inneren Spannung des komplexen Films selbst auf. Die Mehrheit des Wafers umfaßt eine große Verzerrung. Das Problem der Verzerrung ist sehr ernsthaft für mit dem harten Material beschichtete Wafer. In dem Fall von Silizium können große, flache Spiegelwafer leicht hergestellt werden, da Si-Wafer homogen ohne die Komplexität einer Mehrfachsicht sind. Im Gegensatz dazu bewirkt die Verzerrung ein signifikantes Problem aufgrund der Inhomogenität und der Komplexität in dem Fall von mit hartem Material beschichteten Wafers.

Die Verzerrung der Wafer verursacht viele Schwierigkeiten. Die Verzerrung verhindert die Fotolithographie von übertragenden Maskenmustern exakt auf der Resistbeschichtung des Wafers. Dies ist für sich ein großer Nachteil. Um damit zu beginnen, ist die Verzerrung eines Wafers ein großes Hindernis für das Polieren des Wafers. Eine Poliermaschine kann nicht einen sich biegenden Wafer insgesamt polieren. Ein Polieren wandelt einen zerklüfteten Wafer in einen Spiegelwafer um. Wenn ein Polieren unmöglich ist, kann kein Spiegelwafer hergestellt werden. Wenn ein Wafer nicht spiegelpoliert ist, ist die Fotolithographie insgesamt unzulänglich. Demzufolge ist es möglich, Vorrichtungen auf einem zerklüfteten Wafer durch den Wafer-Prozeß herzustellen. Ein Polieren ist ein grundsätzliches Erfordernis für Wafer.

Diamant ist das härteste Material unter den Materialien, die wir erhalten können. Es existiert kein härteres Material als Diamant. Demzufolge wird nun Diamant durch Diamant poliert. Diamantplatten werden nämlich durch eine Vorrichtung unter Verwendung von Diamantpulver poliert.

Dabei sind zwei Verfahren zum Polieren von Diamantplatten vorhanden. Ein Verfahren setzt freies Polierpulver ein. Das andere Verfahren setzt fixiertes Polierpulver ein. Ein Skife-Polieren, das als eine Art und Weise des ersteren Polierverfahrens bekannt geworden ist, verwendet eine Eisenpolierplatte und diamantfreies Polierpulver. Das Verfahren poliert eine Diamantplatte durch die Schritte eines Anklebens der Diamantplatte an einem Halter, Drücken des Halters auf einen Drehpoliertisch (runder Schleifstein), Zuführen von Polierflüssigkeit, die Diamantpulver enthält, Drehen des Drehtisches, Drehen des Halters und Schleifen der betreffenden Diamantplatte durch die physikalische Wirkung von Diamantkörnern. Das Verfahren besitzt den Nachteil des großen Verbrauchs von Diamantpulver, da es von dem freien Diamantpulver beim Polieren abhängt. Der Verbrauch von Diamantpulver erhöht die Kosten für das Schleifen. Ein anderer Nachteil des Verfahrens ist die langsame Schleifgeschwindigkeit und die schlechte Genauigkeit bei der Endbearbeitung.

Ein anderes Verfahren (mit festgelegtem Pulver) schleift Diamantplatten mit einem Schleifstein, auf dem Diamantpulver fixiert ist. Dabei sind verschiedene Arten von Diamantschleifsteinen vorhanden, die durch die Art und Weise eines Fixierens der Diamantkörner auf den Schleifsteinen klassifiziert werden. Der Schleifstein, auf dem Diamantpulver durch Phenolharz, Polyimidharz, usw., fixiert wird, wird als harzgebundener Schleifstein bezeichnet. Ein anderer Schleifstein, auf dem Diamantpulver durch Bronze, Kobalt, Wolfram, Eisen, Nickel, usw., fixiert wird, wird als metallgebundener Schleifstein bezeichnet. Der Schleifstein, auf dem Diamantpulver durch platinieren von Nickel, usw., fixiert wird, wird als Elektroniederschlags-Schleifstein bezeichnet. Diese Schleifsteine, die festgelegtes Diamantpulver verwenden, besitzen einen Vorteil eines Vermeidens des Abfalls von Diamantkörnern.

Das Verfahren mit festgelegtem Granulat poliert die Oberfläche der Diamantplatten durch die Schritte eines Befestigens einer Diamantplatte an einem Halter, Drücken des Halters auf einen Drehschleifsteintisch, Drehen des Schleifsteintisches, Drehen auch des Halters um seine eigene Achse und Polieren der Oberfläche des Diamants durch die physikalische Wirkung der festgelegten Diamant-Körner.

Alle diese Verfahren schleifen Diamantplatten oder Diamantfilme durch den physikalischen Kontakt der Diamant-Körner. Die Verfahren hängen von der physikalischen Wirkung des Diamantpulvers ab. Aufgrund der Erhöhung der physikalischen Wirkung erfordern diese

Verfahren das Aufbringen einer schweren Last auf die Polierflächen. Der hohe Druck der Last ermöglicht dem Diamantpulver, die Oberflächen der betreffenden Diamantplatten oder der -filme zu reiben, zu kratzen oder zu schaben. Die schwere Last verbraucht auch die Diamant-Körner, die entweder auf dem Schleifstein fixiert sind oder in der Flüssigkeit, ebenso wie dem Objekt, fließen.

Ohne die schwere Last kann der betreffende Diamant nicht mehr schleifen, wobei er in eine Furche gleitet.

Einige Leute haben ein Polierverfahren vorgeschlagen, das sich mit der großen Last befaßt. Die Japanische Patentoffenlegung Nr. 2-26900 (26900/90) hat ein thermochemisches Verfahren vorgeschlagen, das Diamant durch eine chemische Reaktion poliert, indem Diamant in Kontakt mit einem erhitzten, flachen Metalltisch unter der oxidierenden Atmosphäre unter einer hohen Temperatur gebracht wird. Dieses chemische Verfahren benutzt kein Diamantpulver.

Die Anwendbarkeit des herkömmlichen Wafer-Prozesses ist für das Ausnutzen von mit hartem Material beschichteten, komplexen Wafern unentbehrlich, das bedeutet, der mit Diamant beschichtete Wafer, mit diamantähnlichem Kohlenstoff beschichtete Wafer, oder der mit c-BN beschichtete Wafer auf dem Gebiet von Elektronik, Optiken oder Optoelektroniken. Zum Beispiel muß die Technologie einer Fotolithographie bei den komplexen Wafern für eine Feinbearbeitung angewandt werden können. Fotolithographie erfordert die Flachheit der betreffenden Wafer. Die verschiedenen Wafer-Prozesse sind hoch in der Siliziumhalbleitertechnologie entwickelt worden. Die mit hartem Material beschichteten, komplexen Wafer müssen den Bedingungen entsprechen, die durch die etablierten Wafer-Prozesse gefordert sind.

Der mit hartem Material beschichtete, komplexe Wafer muß die Erfordernisse der Herstellung von Halbleitervorrichtungen erfüllen. Allgemein fordert die Herstelltechnologie einen Durchmesser von mehr als 2 Inch und eine Dicke von weniger als 1 mm eines Wafers.

Die Größen elektronischer Vorrichtungen werden Jahr für Jahr kleiner. Die Miniaturisierung von Vorrichtungen erfordert die Verringerung der Dicke der Wafer. Diese verdünnende Technik hat sich für Siliziumwafer etabliert.

Im Gegensatz zu Silizium können große, homogene Wafer, die aus nur einem Einzelmaterial zusammengesetzt sind, nicht derzeit in dem Fall von harten Materialien hergestellt

werden, das bedeutet Diamant, diamantähnlicher Kohlenstoff und c-BN, und zwar aufgrund der Schwierigkeit eines Herstellens von großen, langen Einkristallen. Diese Materialien können zu einem dünnen Film synthetisiert werden. Dann können komplexe Wafer durch Beschichten eines geeigneten Substrats mit einem Film aus dem harten Material hergestellt werden. Anstelle von homogenen Wafern werden komplexe Wafer mit zwei Komponenten für die harten Materialien hergestellt werden. Der inhomogene Wafer besteht aus einem Substrat und einem Film aus einem hartem Material. Die harten Materialien werden nun durch Diamant zum Vermeiden einer häufigen Benennung aller Materialien dargestellt.

Mit Diamant beschichtete Wafer können durch das bekannte Plasma-CVD-Verfahren, das Heißfilament-CVD-Verfahren, usw., hergestellt werden. Verschiedene Materialien können für die Substrate verwendet werden. Das beste für das Substrat ist ein Siliziumwafer, da sich die Technologie zum Herstellen und zum Verarbeiten von Siliziumwafern etabliert hat. Es ist leicht, flache Siliziumwafer unter niedrigen Kosten zu erhalten.

Ein komplexer Wafer kann durch Niederschlagen eines dünnen Films aus Diamant auf dem Substrat durch die vorstehend erwähnten Verfahren hergestellt werden. Die Oberfläche des Films ist zerklüftet. Dann muß die zerklüftete Oberfläche des mit Diamant beschichteten Wafers zu einer glatten und flachen Oberfläche poliert werden.

Allerdings ist Diamant das härteste Material unter allen Materialien, die derzeit erhältlich sind. Dabei ist kein Material härter als Diamant. Demzufolge wird Diamant mechanisch durch eine Poliermaschine unter Verwendung von Diamantpulver als Schleifmedium poliert. Bei dem Polieren muß hoher Druck auf die Oberfläche des betreffenden Diamants aufgebracht werden. Demzufolge muß ein Diamantwafer eine große Belastung aushalten. Allerdings besteht ein Diamantwafer aus einem Substrat-Wafer und einem dünnen Diamantfilm. Der Diamantfilm besitzt eine mechanische Festigkeit in Bezug auf das Substrat. Eine hohe Last drückt hauptsächlich das Substrat in der Längsrichtung.

Silizium, das als ein Substrat verwendet wird, ist ein zerbrechliches Material. Dann, wenn ein Siliziumwafer als ein Substrat angepaßt ist, ist es wahrscheinlich, daß der komplexe Wafer bricht, insbesondere dann, wenn der Wafer einen großen Durchmesser und eine geringe Dicke besitzt. Falls ein anderes Material als ein Substrat verwendet wird, ist es wahrscheinlich, daß das Material durch den hohen Druck gebrochen wird. Ein Problem ist

der Bruch eines Wafers durch den hohen Druck. Dieses Problem muß gelöst werden, um einen Spiegeldiamantwafer herzustellen.

Es ist dabei ein noch anderes Problem vorhanden. Eine starke, innere Spannung entsteht in dem komplexen Wafer, der ein Substrat und einen Film besitzt, aufgrund der zweifach geschichteten Struktur. Ein Diamant wird bei einer hohen Temperatur in einer Dampfphase von dem angeregten Materialgas synthetisiert. Dann wird der Wafer auf Raumtemperatur abgekühlt. Thermische Spannung tritt in dem komplexen Wafer aufgrund der Unterschiede der thermischen Expansion zwischen dem Substrat und dem Film auf. Zusätzlich besitzt ein Diamantfilm eine ihm eigene Eigenspannung. Die thermische Spannung und die Eigenspannung zerstören die konvexe oder die konkave Eigenschaft des komplexen Wafers in einem großen Umfang.

Herkömmliche Poliervorrichtungen schleifen einen flachen Gegenstand durch einen flachen Halter und einen flachen Polierdrehteller. Die herkömmlichen Maschinen sind zum Polieren von deformierten bzw. verzerrten Gegenständen völlig ungeeignet. Man könnte die Idee haben, einen verzerrten Gegenstand durch Kleben eines deformierten Gegenstands in einen erzwungenen, flachen Zustand auf einem flachen Halter, Drücken des Gegenstands durch den Halter auf den Drehtisch, Drehen des Halters und Drehen des Drehtisches in einer herkömmlichen Maschine zu polieren. Allerdings würde eine solche oberflächliche Verbesserung nutzlos sein. Ein Problem ist die hohe Wahrscheinlichkeit eines Bruchs der Wafer. Ein anderes Problem ist die Schwierigkeit beim Schleifen des Films gleichförmig. Eine andere Schwierigkeit ist eine große Fluktuation der Dicke des Films, der poliert wird. Diese Probleme behindern die Anwendung der herkömmlichen Poliermaschine auf zweischichtige Wafer, die ein Substrat und einen Film aus einem harten Material besitzen.

Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen großen, komplexen Wafer zu schaffen, der ein Substrat aus einem nicht harten Material und einen Film aus einem harten Material besitzt.

Eine andere Aufgabe ist diejenige, ein Verfahren zum Herstellen desselben zu schaffen. Gemäß der vorliegenden Erfindung wird ein mit einem harten Material beschichteter Wafer geschaffen, der ein deformiertes Substrat und einen Film aus einem harten Material, das eine Vickershärte von mehr als Hv3000 besitzt, der auf zumindest einer Oberfläche des Substrats durch ein CVD-Verfahren hergestellt worden ist, hat, gekennzeichnet dadurch,

daß die gesamte Dicke des Wafers in dem Bereich von 0,1 mm bis 2,1 mm liegt; der Durchmesser des Wafers größer als 25 mm ist; mehr als 50 % des Films auf eine Rauigkeit geringer als $R_{max} 50 \text{ nm}$ und $R_a 20 \text{ nm}$ poliert ist; und der Wafer in eine konvexe Form auf der Filmseite mit einer Deformierungshöhe H in dem Bereich $-150 \mu\text{m}$ bis $-2 \mu\text{m}$ deformiert ist.

Gemäß einem anderen Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zum Herstellen eines mit einem harten Material beschichteten Wafers nach Anspruch 9 geschaffen.

Das Dampfphasenverfahren zum Herstellen des Films kann ein Glühfaden- bzw. Filament-CVD-Verfahren, ein Mikrowellenplasma-CVD-Verfahren, ein Funkfrequenzplasma-CVD-Verfahren, ein Plasmaflammen-Verfahren, usw., sein. Der passende Reaktionsdruck beträgt 1 Torr bis 300 Torr. Das Materialgas ist Wasserstoffgas, Kohlenwasserstoffgas für die Herstellung eines Films, eines Diamants oder diamantähnlichen Kohlenstoffs. Das Materialgas ist Wasserstoffgas, Boridgas und Nitridgas zum Herstellen eines c-BN-Films. Bei der Bildung eines Diamantfilms oder eines diamantähnlichen Films bilden Wasserstoffgas und Kohlenwasserstoffgas einen Hauptteil des Materialgases. Allerdings können das gesamte Wasserstoffgas oder ein Teil des Wasserstoffgases durch ein Edelgas ersetzt werden. Kohlenwasserstoffgas kann auch durch ein gewisses organisches Gas oder anorganisches Gas ersetzt werden, einschließlich Kohlenstoff in dem Fall von Diamant oder diamantähnlichem Kohlenstoff. Es ist bevorzugt, das Materialgas mit einem gewissen organischen Gas oder anorganischen Gas, das Wasserstoffgas enthält, zu dotieren. Der Zustand der Dampfphasensynthese sollte ausgewählt werden, um einen konvex gewölbten Wafer herzustellen, der sich zu der Seite des synthetisierten Films hin biegt. Dies ist ein wichtiger Aspekt. Ein flacher Wafer ist ziemlich inoperativ im Hinblick auf den herkömmlichen Sinn, da ein im wesentlichen flacher Wafer eine wellige Oberfläche, die zum Polieren ungeeignet ist, besitzt. Ein konkav deformierter Wafer ist auch ungeeignet. Nur ein konvex deformierter Wafer kann gleichförmig durch die Poliervorrichtung dieser Erfindung poliert werden. Der Film des konvex deformierten Wafers sollte poliert werden, bis die Rauigkeit des Films auf R_{max} geringer als 50 nm und R_a geringer als 20 nm verringert ist. Obwohl die Oberfläche nicht perfekt glatt ist, ermöglicht der Film dieser Rauigkeit den Wafer-Prozeß, um Elektroden zu bilden, Fremdatome zu implantieren, Fremdatome

zu diffundieren oder Metalle, Oxide oder Halbleiter selektiv durch die Fotolithographie zu ätzen.

Fig. 1 stellt eine Schnittansicht eines mit einem harten Material beschichteten Wafers gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dar. Dies ist ein konvex deformierter Wafer.

Teilweise tritt aufgrund der Differenz der thermischen Expansionskoeffizienten und teilweise aufgrund der großen Dicke des Films eine starke, innere Spannung in dem konvexen Wafer auf, wenn der Wafer bei Raumtemperatur nach der Synthese des Films aus hartem Material abgekühlt ist. Die starke, innere Spannung deformiert den komplexen Wafer entweder zu einer konvexen Form oder zu einer konkaven Form. Die Deformation wird nun durch die Höhe H der Mitte von der Ebene, die den Umfang des Wafers umfaßt, ausgedrückt. Das Vorzeichen der Höhe H wird nun dahingehend bestimmt, daß es für die konkave Deformierung positiv und für die konvexe Deformierung negativ ist. Diese Erfindung bevorzugt einen konvex deformierten Wafer mit einer negativen Höhe H zwischen $-2\mu\text{m}$ und $-150\mu\text{m}$. Fig. 1 stellt einen konvex deformierten Wafer einer negativen Deformierungshöhe dar, die zum Polieren gemäß der vorliegenden Erfindung geeignet ist. Die Erfinder haben herausgefunden, daß die Deformierung von Wafers durch die Bedingung des Dampfphasenniederschlags des Films auf dem Substrat kontrolliert werden kann. Eine gewisse Synthese-Bedingung kann einen flachen Wafer erzeugen. Ein flacher Wafer scheint der beste Zustand zu sein. Allerdings ist dies falsch. Ein flacher Wafer wölbt sich tatsächlich, wie in Fig. 2 dargestellt. Der Wafer, der flach zu sein scheint, ist teilweise konkav und teilweise konvex. Ein flacher Wafer ist nämlich komplexer als ein konvexer Wafer oder ein konkaver Wafer insgesamt. Wenn ein flacher Wafer mit einer welligen Oberfläche poliert wird, verbleiben unpolierte Bereiche bei jeglichem Bemühen. Demzufolge vermeidet diese Erfindung flache Wafer. Diese Erfindung setzt keine konkav deformierten Wafer aufgrund der Schwierigkeit des Polierens ein.

Die vorliegende Erfindung erfordert die folgenden Bedingungen für harte Materialien, Substrate und eine Deformierung als Optimum.

[A. Filme aus hartem Material]

Diamant-Filme, diamantähnliche Filme und c-BN-Filme sollten mit den folgenden Bedingungen vorgesehen werden:

Dicke eines Films: $5\text{ }\mu\text{m}$ bis $100\text{ }\mu\text{m}$; vorzugsweise $15\text{ }\mu\text{m}$ bis $50\text{ }\mu\text{m}$. Eine große Dicke eines Films erhöht die Kosten einer Bildung des Films. Ein Film mit einer Dicke von $1000\text{ }\mu\text{m}$ ist bearbeitbar, allerdings benötigt ein solcher dicker Film zu viel Material und eine zu lange Zeit zum Niederschlagen. Demzufolge ist ein Film dicker als $100\text{ }\mu\text{m}$ nachteilig vom ökonomischen Standpunkt aus. Im Gegensatz dazu bringt ein Film mit einer zu geringen Dicke die Schwierigkeiten beim Polieren mit sich. Der Basis-Wafer erscheint mit einigen Teilen an der Oberfläche. Manchmal wird der Wafer durch den Kontakt des Basismaterials mit der Polierplatte gebrochen. Deshalb setzt diese Erfindung Filme mit einer Dicke von mehr als $5\text{ }\mu\text{m}$ ein. Eine bevorzugte Dicke beträgt $15\text{ }\mu\text{m}$ bis $50\text{ }\mu\text{m}$.

Rauigkeit der Oberfläche R_{max} ist geringer als 50 nm . R_a ist geringer als 20 nm .

Wenn die Oberflächenrauigkeit größer als die Werte sind, kann der Wafer nicht als ein Wafer für elektronische Vorrichtungen oder als ein Wafer für abrasionsbeständige Werkzeuge verwendet werden. Wenn die Rauigkeit eines Wafers groß ist, ist es nicht möglich, durch Fotolithographie feine Muster von Drähten der Vorrichtungen auf dem Wafer zu bilden. Eine große Rauigkeit läßt den Reibungskoeffizienten des komplexen Wafers ansteigen. Der Wafer mit einer hohen Reibung kann nicht ein Material für abrasionbeständige Werkzeuge sein.

[B. Basis- bzw. Grund-Wafer (Substrat)]

Der Basis-Wafer auf dem ein Film aus hartem Material angewachsen wird, ist ein nicht hartes Material, das dazu geeignet ist, daß es zu einer großen dünnen Platte gebildet werden kann. Das Material des Basis-Wafers ist eines von Si, GaAs, GaP, AlN, SiC, Si_3N_4 , LiTaO₃, LiNbO₃, $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$, PbTiO₃, PZT(PbZrO₃-PbTiO₃) oder Quarz. Ein Si-Einkristall-Wafer ist besonders wünschenswert. Weiterhin ist ein (100) Si-Wafer das optimale Material unter verschiedenen orientierten Siliziumwafern.

Die optimale Dicke hängt von dem Material des Basis-Wafers ab. Allgemein sollte die Dicke des Basis-Wafers $0,1\text{ mm}$ bis 1 mm üblicherweise sein. Ein Basis-Wafer dünner als $0,1\text{ mm}$ würde durch eine große Deformation stören und anfällig gegen ein Brechen sein. Im Gegensatz dazu kann ein Wafer dicker als 1 mm nicht mit dem Waferprozeß behandelt werden. Demzufolge können Vorrichtungen nicht auf einem solchen dicken Wafer durch den Prozeß aufgebaut werden. Wenn Vorrichtungen aus dem dicken Wafer hergestellt werden, können die Vorrichtungen nicht auf Packages montiert werden, ohne daß die Wafer durch Abschleifen der Bodenoberfläche dünner gemacht werden.

In Bezug auf die Form sind kreisförmige Wafer die besten für die bequeme Handhabung, z. B. Transport, Fixierung, Bevorratung oder Stützen. Allerdings ist ein rechteckiger Wafer oder ein quadratischer Wafer auch als ein Basis-Wafer erhältlich. Solche Wafer werden für einige spezielle Zwecke verwendet. Allgemein sind kreisförmige Wafer am geeignetesten für die Behandlung durch den herkömmlichen Halbleiterprozeß ähnlich Siliziumwafern. Der Durchmesser ist ein wahlweiser Parameter, der für den Zweck bestimmt werden wird. Der Durchmesser muß allerdings größer als ein Inch (25 mm) für die Effizienz der Behandlung in dem Waferprozeß sein. Wafer mit 2 Inch, Wafer mit 3 Inch, Wafer mit 4 Inch, Wafer mit 5 Inch oder Wafer mit 8 Inch sind auch nützlich in Bezug auf die Basis-Wafer der Erfindung.

[C. Deformierung]

Diese Erfindung fordert eine konvexe Deformierung für komplexe Wafer nach der Synthese der Filme. Der Wafer sollte nämlich konvex zu der Seite des Films monoton von dem Umfang zu der Mitte hin deformiert sein. Der absolute Wert $|H|$ der Höhe der Deformierung muß von $2\text{ }\mu\text{m}$ bis $150\text{ }\mu\text{m}$ reichen. Die Deformierung des Wafers wird hier durch die Höhe H der Mitte zu der Ebene, die den Umfangskreis umfaßt, ausgedrückt. Die Deformierung muß durch einen Krümmungsradius R bezeichnet werden. R und H sind einfach durch eine Gleichung $R = D^2/8H$ in Bezug gesetzt, wobei D der Durchmesser des Wafers ist. Weiterhin ist die konvexe Deformierung einem negativen H zugeordnet, allerdings ist die konkave Deformierung einem positiven H zugeordnet. Demzufolge wird das Erfordernis einer Deformierung kurz beschrieben durch $-150\text{ }\mu\text{m} \leq H \leq -2\text{ }\mu\text{m}$; vorzugsweise $-50\text{ }\mu\text{m} \leq H \leq -5\text{ }\mu\text{m}$.

Die vorliegende Erfindung befaßt sich mit dem Wafer, ohne eine Deformierung, das bedeutet $H = 0$. Deformierungsarme Wafer können als die Besten für den nachfolgenden Poliervorgang angesehen werden. Allerdings hat, wenn ein Wafer keine makroskopische Deformierung besitzt, er tatsächlich einige Wellen, die komplexere Moden eines Biegens mit sich bringen, wie in Fig. 2 dargestellt ist. Ein solcher welliger Wafer kann nicht perfekt auf irgendeine Weise poliert werden. Unpolierte Teile oder unzureichend polierte Teile verbleiben auf einer zufälligen Basis auf der Oberfläche. Eine einfachere Biegung ist für ein Polieren geeigneter, gerade obwohl die Deformierung ziemlich groß ist. Das Minimum der Deformierung wird so bestimmt, daß es $2\text{ }\mu\text{m}$ zum Ausschließen keiner Deformierung $H = 0$ ist. Im Gegensatz dazu beträgt das Maximum der Deformierung $150\text{ }\mu\text{m}$. Ein Wafer,

der eine Deformierungshöhe größer als $150\text{ }\mu\text{m}$ besitzt, wird einige unpolierte Bereiche belassen. Wafer sollten insgesamt gleichförmig poliert sein. Das gleichförmige Polieren wird für die Wafer unmöglich, die sich mehr als $150\text{ }\mu\text{m}$ biegen. Demzufolge befaßt sich die Erfindung mit der Deformierung von mehr als $150\text{ }\mu\text{m}$.

Der Polierschritt kann wie folgt ausgeführt werden.

Das Polieren umfaßt die Schritte eines Aufhängens eines komplexen Wafers, der ein Substrat und einen harten Film von mehr als Hv3000 besitzt, an einer Mitte einer Bodenfläche eines Halters in einem konvex deformierten Zustand, Drücken des konvexen Films auf einen sich drehenden Drehtisch, Aufbringen einer schweren Last auf die Mitte des Halters, Drehen des Halters, Neigen Bodenfläche des Halters zu dem Drehtisch hin, in Kontakt bringen des Bereichs zwischen dem Wafer und dem Drehtisch von der Mitte zu dem Umfangsteil des Wafers graduell und Bewegen des Polierbereichs von der Mitte zu dem Umfang des Films. Da sich der Kontaktbereich von der Mitte zu dem Umfang bewegt, wird die gesamte Oberfläche perfekt ohne unpolierte Bereiche poliert. Die Bewegung einer Drehung um eine schräge Achse, deren Richtung sich ändert, wird nun als „Präzessions-“ oder „Taumel-Bewegung“ bezeichnet. In der genauen Bedeutung in der Physik erfordert die Präzession die Drehung in einem exakten Kegel der schräg gestellten Achse selbst. Allerdings bedeutet das Wort „Präzession“ hier eine wahlweise Rotationsbewegung der schräg gestellten Achse des Halters. Die Stelle der Achse umfaßt nicht nur Kreise, sondern auch Ellipsoide. Die Schaukel-Bewegung bedeutet die sich hin- und herbewegenden Neigungen der Drehachse in der radialen Richtung. Die Stelle der Achse ist ein Teil einer geraden Linie. Demzufolge ist eine Schaukel-Bewegung eine Grenze der Präzession, deren geometrischer Ellipsoid eine kürzere Achse einer Länge von 0 besitzt. Demzufolge werden manchmal sowohl die Präzession als auch die Schaukel-Bewegung kurz nur als Präzession angegeben.

Der Vorteil der Erfindung wird nun erläutert.

Grundkristalle aus Diamant und c-BN sind durch einige Verfahren synthetisiert worden. Alle Grundkristalle hatten eine schlechte, praktische Bedeutung neben den akademischen Bedeutungen, da sie einen zu kleinen Bereich besaßen. Diese Erfindung versucht, größer dimensionierte Wafer aus den härtesten Materialien, d.h. Diamant, diamantähnlichem Kohlenstoff und c-BN zunächst herzustellen. Die Wafer aus hartem Material besaßen eine komplexe Struktur, die ein übliches Substrat und einen harten Film, niedergeschlagen auf

dem Substrat, haben. Hierbei sind die Wafer von Si-Wafern oder GaAs-Wafern unterschiedlich, die homogen und völlig aus einem einzelnen Material aufgebaut sind. Die komplexen Wafer sind sehr nützlich für ein Substrat zum Herstellen von elektronischen Vorrichtungen; da solche Vorrichtungen den besten Gebrauch nur von der Oberfläche der Wafer machen.

Der chemische Dampfphasenniederschlag (CVD) ermöglicht dieser Erfindung, groß dimensionierte, komplexe Wafer auf einem großen Substrat-Wafer herzustellen. Eine Lieferung von groß dimensionierten Wafern reduziert die Kosten zum Herstellen von Vorrichtungen durch den Waferprozeß.

Die Wafer der vorliegenden Erfindung werden allerdings durch die Differenz der thermischen Expansion zwischen dem Substrat und dem Film deformiert. Gemäß einem herkömmlichen Sinne sind Poliermaschinen allgemein nur dabei effektiv, flache Objekte zu polieren, allerdings sind sie völlig uneffektiv, deformierte Gegenstände zu polieren.

Die Erfinder stimmen nicht dieser üblichen Meinung zu. Ein flacher Wafer ist sehr schwierig zu polieren. Konkav deformierte Wafer mit einer Deformierung, die von $-150\text{ }\mu\text{m}$ bis $-2\text{ }\mu\text{m}$ reicht, kann gleichförmig durch eine Poliermaschine mit einem Halter, der sich durch eine Schaukelbewegung oder eine Präzessionsbewegung dreht, poliert werden. Konkav deformierte Wafer können auch durch Einsetzen eines konvexen Abstandsteils zwischen dem Puffer und dem Wafer poliert werden.

Einer der wichtigen Aspekte dieser Erfindung ist die Entdeckung der Möglichkeit eines Polierens von deformierten Objekten. Die Möglichkeit eines Polierens ermöglicht dieser Erfindung, Spiegelwafer aus hartem Material zum ersten Mal herzustellen. Die Maschine poliert einen konvex deformierten Wafer von der Mitte zu dem Umfang hin, oder vice versa, durch Neigen des Halters ein wenig durch ein leichtes Kippen, wobei die gesamte, konvexe Oberfläche vollständig zu einer Rauigkeit geringer als $R_{\text{max}}50\text{nm}$ und $Ra20\text{nm}$ poliert wird, was ermöglicht, mittels Fotolithographie verschiedene Vorrichtungen auf dem Wafer aus hartem Material herzustellen. Ein mit einem harten Material beschichteter Wafer wird leicht in eine konvexe Form oder in eine konkave Form durch den Unterschied thermischer Expansionskoeffizienten zwischen dem Substrat und dem Film aus hartem Material gebogen. Gerade wenn ein komplexer Wafer immun gegen die Deformierung insgesamt ist, hat der Wafer Wellen. In jedem Fall sind komplexe Wafer nicht flach in einer

strengen Bedeutung. Herkömmliche Maschinen könnten nicht alle Oberflächen ohne Belassen unpolierter Bereiche polieren.

Diese Technik ist beim Polieren der gesamten Oberfläche eines komplexen Wafers ohne Belassen unpolierter Teile durch Einsetzen des Wafers in einer konvexen Deformierung in einen Halter, Drehen des Halters auf einem Drehtisch und Unterwerfen des Halters einer Schaukelbewegung oder einer Präzession, die ermöglicht, daß alle Teile auf der Oberfläche in Kontakt mit dem Drehtisch kommen, erfolgreich. Der polierte Teil besitzt eine ausreichende Glattheit von weniger als $R_{max} 50nm$ und $Ra 20nm$. Die vorliegende Erfindung kann die Fluktuation der Filmdicke innerhalb von $\pm 10\%$ unterdrücken.

Die zweischichtige Version wird auch zum Reduzieren der Fluktuation der Dicke des Films, der poliert ist, vorgeschlagen. Diese Version beschichtet das Substrat mit einer zum Polieren schwierigen Schicht zuerst und schlägt eine für das Polieren einfachere Schicht bis zu einer bestimmten Dicke auf der für das Polieren schwierigen Schicht nieder. Wenn der zweischichtige Wafer poliert wird, wird die weichere Oberseitschicht vorzugsweise poliert und die härtere Unterbeschichtung insgesamt freigelegt. Demzufolge wird die Verteilung der Dicke in der gesamten Oberfläche gleichförmig.

Große Grundkristalle aus hartem Material, das bedeutet Diamant, diamantähnlichem Kohlenstoff und c-BN, können nicht durch den derzeitigen Stand der Technologie angewachsen werden. Filme aus den harten Materialien können durch Dampfphasenniederschlagsverfahren synthetisiert werden. Allerdings benötigt es eine sehr lange Zeit und große Kosten, um einen homogenen Wafer herzustellen, der kein anderes Material als das harte Grundmaterial enthält, durch Anwachsen eines dicken Films aus hartem Material auf einem Substrat und Entfernen des Substrats. Ein komplexer Wafer, der einen dünnen Film aus hartem Material besitzt, ist ausreichend für die Anwendung als Material von Halbleitervorrichtungen, optischen Vorrichtungen oder optoelektronischen Vorrichtungen. Die komplexen Wafer müssen spiegelpoliert sein für den Zweck einer Fotolithographie oder für andere Waferprozesse. Allerdings werden komplexe Wafer durch eine starke Deformierung aufgrund einer größeren, inneren Spannung begleitet. Diese Erfindung ermöglicht, die deformierten, komplexen Wafer zum ersten Mal auf Spiegelglanz zu polieren. Dies ist eine wichtige Erfindung, die zu effektiven Anwendungen der harten Materialien auf verschiedenen Technologiegebieten führt.

Die Erfindung wird vollständiger aus der nachfolgenden Beschreibung verstanden werden, die an Hand nur eines Beispiels unter Bezugnahme auf die verschiedenen Figuren der beigefügten Zeichnungen vorgenommen wird, in denen:

Fig. 1 zeigt einen kurzen Abschnitt eines konvex gebogenen, komplexen Wafers, der ein Substrat und einen Film aus hartem Material, beschichtet auf dem Substrat, besitzt.

Fig. 2 zeigt einen kurzen Abschnitt eines makroskopisch sich nicht biegenden, komplexen Wafers, der eine konvexe Biegung und eine konkave Biegung als Wellen besitzt, da die Deformierung durch die Höhe der Mitte, von der Ebene, die den Umfang enthält, definiert ist.

Fig. 3 zeigt einen Schnitt eines Grund- beziehungsweise Basis-Wafers als ein Substrat an dem ersten Schritt, der für die Prozesse eines Herstellens eines Films aus hartem Material und zum Bilden von Elektroden auf dem Film präpariert ist.

Fig. 4 zeigt einen Schnitt des Basis-Wafers und eines zerklüfteten Films aus hartem Material, niedergeschlagen auf dem Wafer, der sich konvex biegt.

Fig. 5 zeigt einen Schnitt des konvex deformierten, komplexen Wafers, der einen glatten Film besitzt, der poliert worden ist.

Fig. 6 zeigt einen Schnitt des konvex deformierten, komplexen Wafers, mit dem Basis-Wafer und dem Film aus hartem Material, auf dem ein Aluminiumfilm aufgedampft worden ist.

Fig. 7 zeigt einen Schnitt des komplexen Wafers, der den Basis-Wafer und den Film aus hartem Material besitzt, auf dem interdigitale beziehungsweise eng zusammenhängende Elektroden durch selektives Ätzen des Aluminiums der Fig. 6 hergestellt sind.

Fig. 8 zeigt eine Schnittansicht einer Filament-CVD-Vorrichtung zum Herstellen eines Films aus hartem Material auf einem Substrat.

Fig. 9 zeigt einen Schnitt einer Mikrowellenplasma-CVD-Vorrichtung zum Herstellen eines Films aus einem harten Material auf einem Substrat.

Fig. 10 zeigt eine Schnittansicht einer Plasmastrahl-CVD-Vorrichtung zum Synthetisieren eines Films aus einem harten Material auf einem Substrat.

Fig. 11 zeigt eine Vorderansicht einer Poliermaschine zum Polieren der Oberfläche des Films aus hartem Material.

Fig. 12 zeigt eine vergrößerte Schnittansicht nur des Halters der Poliermaschine.

Fig. 13 zeigt eine Draufsicht des Wafers mit keiner Deformierung, der mit einem flachen Halter durch die Poliervorrichtung poliert worden ist. Ein weißer Bereich ist ein polierter Teil. Punktierter Bereiche sind nicht polierte Bereiche.

Fig. 14 zeigt eine Draufsicht des Wafers des konkav deformierten Films, der mit einem flachen Halter durch die Poliermaschine poliert worden ist.

Fig. 15 zeigt eine Draufsicht des Wafers des konvex deformierten Films, der mit einem flachen Halter durch die Poliervorrichtung poliert worden ist.

Um die vorstehenden Aufgaben zu lösen, und gemäß dem Zweck der Erfindung, werden Ausführungsformen kurz hier beschrieben.

Fig. 3 bis Fig. 7 stellen die Schritte eines Experiments zum Herstellen eines Films aus hartem Material, z. B. Diamant, c-BN oder diamantähnlichem Kohlenstoff, auf einem Substrat, Polieren des Films, Beschichten des Films mit einer Metallschicht, Bilden von Elektroden durch Ätzen und Begutachten, wieviele Drahtmuster gebrochen sind, dar. Tabelle 1 zeigt den Zustand eines Bildens eines Films an, d.h. die Art eines Substrats, die Dicke des Substrats, Durchmesser des Substrats, die Art des harten Materials, die Dicke des Films der Proben ① bis ⑫. Um ein Zitieren aller harten Materialien zu vermeiden, werden die harten Materialien ab hier durch Diamant kurz angegeben.

In einem ersten Schritt ① wird ein flacher, kreisförmiger Basis-Wafer als ein Substrat, das in Fig. 3 angegeben ist, präpariert. In dem zweiten Schritt ② wird ein Diamantfilm auf dem Basis-Wafersubstrat durch das Mikrowellenplasma-CVD-Verfahren, das Filament-CVD-Verfahren, das Plasmastrahl-CVD-Verfahren oder das Plasmaflammen-Verfahren niedergeschlagen. Der Reaktionsdruck beträgt 1 Torr (133 Pa) bis 300 Torr (0,04 MPa). Das Verhältnis von Methan zu Wasserstoff (CH_4/H_2) beträgt 0,1 Vol-% bis 10 Vol-%. Ein Diamantfilm mit einer zerklüfteten Oberfläche wird auf dem Substrat-Wafer, was in Fig. 4 dargestellt ist, angewachsen. Dies ist ein komplexer Wafer, der einen Substrat-Wafer und einen Film besitzt. Der wichtige Aspekt hierbei ist die Deformierung des komplexen Wafers aufgrund der inneren Spannung, die von der Differenz der thermischen Expansionen zwischen dem Substrat und dem Film ausgeht.

An dem dritten Schritt wird die zerklüftete Oberfläche des Diamantfilms durch eine mechanische Poliereinrichtung poliert. Da der Wafer deformiert ist, ist eine gewisse Vorrichtung für die Poliereinrichtung notwendig, um einen solchen gebogenen Wafer zu polieren. Die Vorrichtung wird später beschrieben werden. Konvexe Bereiche und konkave Bereiche

werden von der Filmoberfläche beseitigt. Fig. 5 stellt den Schnitt des komplexen Wafers dar. Der Film wird glatt. Allerdings verbleibt die Deformierung.

Dann wird ein Aluminiumfilm auf dem Film aus hartem Material durch Aufdampfen oder Sputtern niedergeschlagen. Fig. 6 zeigt den Schnitt des komplexen Wafers nach dem vierten Schritt. Mikrodrahtmuster werden durch Ätzen von Teilen des Aluminiumfilms selektiv durch Fotolithographie hergestellt. Die Drähte sind parallel zueinander. Die Linienbreite der Drähte wird in einem Bereich von $0,6 \mu\text{m}$ und $2 \mu\text{m}$ geändert. Der Schnitt des Wafers ist in Fig. 7 dargestellt. Der Diamantwafer besitzt parallele Mikrodrahtmuster. Die Größe der Drähte ist ähnlich zu der Größe der interdigitalen Elektroden aus SAWs. Dann wird die Festigkeit gegen ein Brechen der Drahtmuster untersucht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1, Tabelle 2 und Tabelle 3 aufgelistet. Das Young'sche Modul der Diamantfilme ist durch das Vibrationsdurchführungsverfahren gemessen. Die Ergebnisse sind auch in Tabelle 3 angegeben.

Tabelle 1: Substrat, Substratdicke, Substratdurchmesser, Arten des harten Materials und Filmdicke

Nr.	Substrat	Substrat-Dicke (mm)	Substrat-Durchmesser (Inch)	Hartes Material CVD-Verfahren	Filmdicke (μm)
1	Si (100)	1	2	Diamant	30
2	Si (111)	1	4	Diamant	50
3	Si (poly)	0,35	8	Diamant	100
4	GaAs	0,1	1	Diamant	15
5	AlN	0,8	3	diamantähnlicher Kohlenstoff	5
6	LiNbO ₃	0,5	2	c-BN	30
7	LiTaO ₃	0,3	5	Diamant	100
8	Quarz	1	4	Diamant	5
9	Si (poly)	0,05	2	Diamant	150
10	Si (100)	1	8	Diamant	2
11	LiNbO ₃	3	0,5	Diamant	1000
12	GaAs	0,5	3	c-BN	30

Die Proben ① bis ⑧ sind Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung.

Die Proben ⑨ bis ⑫ sind Vergleichsbeispiele. Die Dicke des Substrats ist durch die Einheit in Millimetern angegeben. Die Einheit der Durchmesser des Substrats ist Inch. Das Substrat der Probe ① ist ein (100) Siliziumwafer. Die Probe ② zeigt einen (111) Siliziumwafer mit einem Durchmesser von 4 Inch und einer Dicke von 1mm. Die Probe ③ besitzt einen Polysiliziumwafer als ein Substrat. Die Probe ④ setzt einen GaAs-Wafer ein. Die Probe ⑤ wählt einen AlN-Wafer als ein Substrat aus. Das Substrat der Probe ⑥ ist ein LiNbO₃-Kristall. Die Probe ⑦ setzt ein LiTaO₃ als ein Substrat ein.

Die Probe ⑨ zum Vergleich besitzt ein Substrat aus einem polykristallinen Silizium mit einem Durchmesser von 2 Inch und einer Dicke von 0,05 mm. Die Probe ⑩ wächst einen Film auf einem Si (100) Wafer mit 8 Inch an. Die Probe ⑪ besitzt einen Wafer aus einem LiNbO₃-Substrat. Die Probe ⑫ verwendet einen Einkristallwafer mit GaAs mit einem Durchmesser von 3 Inch.

Die Dicken der Basis-Wafer betragen 0,1 mm bis 1 mm für alle Proben. Die Durchmesser der Basis-Wafer reichen von 1 Inch bis 8 Inch. Die Einheit der Dicke der Filme aus hartem Material ist μm (Mikrometer). Die Dicken der Filme liegen zwischen 2 μm und 1000 μm . Die Probe ⑤ wächst einen diamantähnlichen Kohlenstoff-Film an. Die Probe ⑥ stellt einen c-BN-Film her. Die anderen Proben wachsen Diamantfilme auf den Substratwafern an.

Fig. 8 gibt die schematische Struktur einer Filament-CVD-Vorrichtung zum Anwachsen von Filmen aus hartem Material auf Substraten durch Anregen eines Gases zu einem Plasma durch Wärme an. Eine Vakuumkammer (31) enthält einen Suszeptor bzw. eine Aufnahme (32) zum Befestigen eines Substratwafers (33) darauf. Die Kammer (31) besitzt einen Abgasauslaß (34), der sich mit einer Vakuumpumpe (nicht in der Fig. dargestellt) verbindet. Elektroden (35) stehen von dem Boden, die Aufnahme (32) sandwichartig dazwischen aufnehmend, vor. Filamente bzw. Fäden (37) spannen den Suszeptor (32) zwischen den Elektroden. Ein Materialgas, das Wasserstoffgas und ein Kohlenwasserstoffgas umfaßt, wird in die Reaktionskammer (31) über einen Gaseinlaß (38) zugeführt. Eine Vakuumeßeinrichtung (39) ist an einem Punkt in der Vakuumkammer (31) installiert. Eine Energieversorgungsquelle (41) führt einen Strom zu den Filamenten bzw. Glühfäden (37).

über die Elektroden (35) zu. Der Strom erzeugt Wärme an den Glühfäden (37). Der Glühfaden (37) erwärmt den Substratwafer (33) und das Materialgas. Ein Kühlmedium (40) zirkuliert in dem Innenraum der Aufnahme (32) zum Kühlen der Aufnahme und hält den Basis-Wafer (33) auf einer geeigneten Temperatur. Die Wärme von den Glühfäden (37) regt das Materialgas an und induziert eine Dampfphasenreaktion. Dies führt zu einer Anhäufung eines Reaktionsprodukts auf dem erwärmten Substratwafer (33) und bildet einen dünnen Film auf dem Wafer (33).

Fig. 9 stellt den schematischen Schnitt einer Mikrowellen-CVD-Vorrichtung dar, die ein Gas zu einem Plasma durch Mikrowellen anregt. Die Vorrichtung besitzt eine vertikal lange Kammer (42), eine Aufnahme (44) und Mikrowellenvorrichtungen. Die Kammer (42) wird mit einem Materialgas versorgt, das von der Oberseite zu dem Boden der Kammer (42) strömt. Eine Tragewelle (43) steht in der Kammer (42). Die Tragewelle (43) hält eine Aufnahme (44) an der Oberseite. Ein Proben-Basis-Wafer ist auf die Aufnahme (44) aufgelegt. Das Materialgas, das in die Kammer von der Oberseite aus eingeführt wird, führt in die Nähe des Substratwafers (45) und führt aus der Kammer über einen Abgasauslaß (nicht in der Fig. dargestellt) heraus. Die Teile, in denen Plasma erzeugt wird, werden durch eine Kühlvorrichtung (48) gekühlt. Ein Magnetron (49) oszilliert Mikrowellen. Die Mikrowellen propagieren in einem horizontal langen Wellenleiter (50), passieren quer die Strömung des Materialgases und regen das Gas zu einem Plasma (51) an. Eine Resonanzplatte (54), die aus einer leitfähigen Platte hergestellt ist, ist zu einem speziellen Rohr geformt, das zu dem Wellenleiter (50) über die Aufnahme (44) hinweist. Ein Kolben (52) bewegt die Resonanzplatte (54) entweder nach rechts oder nach links, um stehende Wellen eines dauerhaften Modes zwischen dem beginnenden Ende des Wellenleiters und der Resonanzplatte (54) zu erzeugen.

Fig. 10 zeigt einen schematischen Schnitt einer Plasmastrahl-CVD-Vorrichtung, die ein Gas zu einem Plasma durch eine DC-Bogenentladung anregt. Eine Reaktionskammer (45) besitzt eine Aufnahme (56) in der Mitte. Die Aufnahme (56) hält ein Proben-Wafersubstrat (57) darauf. Ein Plasmabrenner (58) ist an der Oberseite der Reaktionskammer (55) befestigt. Der Plasmabrenner (58) besitzt eine innere Kathode, eine äußere Anode und einen Gasdurchgangsweg zwischen der Kathode und der Anode. Gase (40) werden über den Durchgangsweg von den äußeren Gaszylindern in die Reaktionskammer (55) zugeführt. Eine Energiequelle (59) legt elektrische Energie zwischen der Kathode und der Anode an.

Eine Bogenentladung tritt zwischen der Kathode und der Anode auf. Die DC-Bogenentladung regt die Gase zu Plasma an. Die Gase sind ein Gas, zum Aufrechterhalten eines Plasmas, z. B. Argongas, ein Trärgas, z. B. Wasserstoffgas und Kohlenwasserstoffgas, z. B. Methangas.

Die Vorrichtungen, die in Fig. 8, Fig. 9 und Fig. 10 dargestellt sind, sind typische CVD-Vorrichtungen, die ermöglichen, ein Materialgas anzuregen und einen Substratwafer mit einem Film aus hartem Material, synthetisiert aus dem Materialgas, zu beschichten. Demzufolge können ein Diamant-Film, ein diamantähnlicher Kohlenstoff-Film und ein c-BN-Film in den Vorrichtungen durch Zuführen eines Materialgases in eine Reaktionskammer, Anregen des Gases durch Wärme, Mikrowellen, oder eine Bogenentladung und Niederschlagen des Reaktionsprodukts auf dem Proben-Wafer gebildet werden. Das Materialgas ist eine Mischung aus Wasserstoffgas und Kohlenwasserstoffgas in dem Fall des Herstellens von Diamant oder diamantähnlichem Kohlenstoff und eine Mischung aus Wasserstoffgas (H_2), Boran (B_2H_6 , B_4H_{10} , B_5H_9 ,...), Ammoniumoxid (NH_3) oder Stickstoff (N_2), usw., in dem Fall des Herstellens von c-BN. Die Filme aus dem harten Material werden hier durch das Mikrowellenplasma-CVD-Verfahren, das Filament-CVD-Verfahren oder das Plasmastrahl-CVD-Verfahren erzeugt, allerdings sind auch andere Verfahren verfügbar. Die Rauigkeit R_{max} und R_a der komplexen Wafer, die ein Substrat und einen Film besitzen, werden gemessen. Die Rauigkeit einer Oberfläche ist durch die Differenz der Höhen von Punkten auf der Oberfläche definiert. Eine zerklüftete Oberfläche besitzt eine Menge kleiner Berge und kleiner Täler. R_{max} ist die maximale Differenz zwischen Bergen und Tälern. R_a ist der Durchschnitt der Differenzen zwischen Bergen und benachbarten Tälern. Die Bildung des Films erzeugt eine gewisse Deformierung in dem Wafer aufgrund der inneren Spannung, die von der Differenz der thermischen Expansion zwischen dem Film und dem Substrat ausgeht. Demzufolge wird die Deformierung auch durch die Höhe H der Mitte von der Ebene, die den Umfang umfaßt, gemessen. Ein Minuszeichen "-" bedeutet die konvexe Deformierung auf der Filmseite. Ein Pluszeichen "+" bezeichnet die konkave Deformierung auf der Filmseite. Die Deformierungshöhe H ist nicht die Krümmung einer Deformierung. Da die Deformierungshöhe durch die Höhe der Mitte von der Basisebene, die den Umfang umfaßt, definiert ist, gibt dieselbe Deformierungs-Höhe unterschiedliche Krümmungen für unterschiedliche Größen von Wafers an. R bezeichnet den Krümmungsradius und D gibt den Durchmesser des Wafers an. Wenn die Deformierung sphärisch ist,

sind die Parameter zueinander durch die Gleichung $H=D^2/8R$ korreliert. Die Tabelle 2 gibt die Rauigkeit R_{max} und R_a und die Deformierungshöhen H für alle Proben an.

Tabelle 2: Rauigkeit und Deformierung eines synthetisierten Wafers aus hartem Material

Nr.	Rauigkeit nach Synthese		Deformierungs- Höhe H (μm)
	R_{max} (μm)	R_a (μm)	
1	2,5	0,5	- 15
2	3,8	1,1	- 50
3	8	3	-150
4	1	0,2	- 30
5	0,4	0,18	- 5
6	1,6	0,5	- 50
7	7	4,2	- 5
8	0,3	0,1	- 50
9	12	0,3	Risse im Substrat
10	0,15	0,05	-200
11	100	40	Bruch des Substrats
12	2,1	0,9	0

(Probe 9 erzeugt Risse. Probe 11 bricht.)

R_{max} nach der Synthese ist weit von 0,15 μm bis 100 μm gestreut. R_a reicht nach der Filmbildung von 0,05 μm bis 40 μm . Die Deformierungen H verteilen sich von +200 μm bis -150 μm . Probe ①, die einen 50 μm dicken Diamantfilm auf einem Si-Wafer mit 2 Inch angewachsen besitzt, besitzt eine Rauigkeit von R_{max} 2,5 μm und R_a 0,5 μm . Dies ist eine glatte Oberfläche. Die Deformierung H beträgt -15 μm in einer konvexen Form auf der Filmseite.

Probe ②, die einen Si-Wafer mit 4 Inch verwendet hat, ist in eine konvexe Form mit $H = -50 \mu m$ deformiert. Probe ③, die einen Film mit 100 μm auf einem Polykristallsiliziumwafer

mit 8 Inch gebildet besaß, hatte eine starke, konvexe Deformierung $H = -150 \mu\text{m}$. Da das Substrat groß ist, ist die Deformierung auch groß. Probe ④, die ein GaAs-Substrat besaß und einen Diamant-Film mit $15 \mu\text{m}$, zeigte eine moderate Deformierung von $H = -30 \mu\text{m}$. Probe ⑤, die einen dünnen, diamantähnlichen Film auf einem AlN-Substrat mit 3 Inch besaß, hatte eine sehr kleine Deformierung von $H = -5 \mu\text{m}$. Die Oberfläche ist sehr glatt. Die Rauigkeit beträgt $R_{\text{max}} 0,4 \mu\text{m}$ und $R_{\text{a}} 0,18 \mu\text{m}$. Probe ⑥ hatte ein LiNbO₃-Substrat von 2 Inch und einen c-BN-Film mit einer Dicke von $30 \mu\text{m}$. Die Rauigkeit beträgt $R_{\text{max}} 1,6 \mu\text{m}$ und $R_{\text{a}} 0,5 \mu\text{m}$. Dies ist glatt genug. Die Deformierung beträgt $H = -50 \mu\text{m}$. Probe ⑦ produzierte einen dicken Diamantfilm mit $100 \mu\text{m}$ auf einem LiTaO₃-Substrat mit 5 Inch. Das Substrat ist groß genug. Der Film ist dick. Die Deformierung ist klein ($H = -5 \mu\text{m}$). Die Oberfläche ist zerklüftet ($R_{\text{max}} 7 \mu\text{m}$ und $R_{\text{a}} 4,2 \mu\text{m}$).

Probe ⑧ setzte ein Quarz-Substrat von 4 Inch mit einer Dicke von 1 mm ein und wuchs einen Diamant-Film mit einer Dicke von $5 \mu\text{m}$ an. Die Oberfläche ist glatt ($R_{\text{max}} 0,3 \mu\text{m}$ und $R_{\text{a}} 0,1 \mu\text{m}$). Die Deformierung ist konvex ($H = -50 \mu\text{m}$). Proben ① bis ⑧ sind Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung. Proben ⑨ bis 12 sind Vergleichsbeispiele.

Probe ⑨ besteht aus einem dünnen Si-Polykristallwafer mit 2 Inch ($0,05 \text{ mm} = 50 \mu\text{m}$) und einem dicken Diamantfilm mit $150 \mu\text{m}$ Dicke. Die Rauigkeit beträgt $R_{\text{max}} 12 \mu\text{m}$ und $R_{\text{a}} 0,3 \mu\text{m}$ auf dem Diamantfilm. Risse treten in dem Si-Substrat auf. Demzufolge wird die Deformierung nicht gemessen. Das Polieren ist für diese Probe weggelassen, da die Risse das Polieren behindern. Das zu dünne Substrat kann, durch die starke, innere Beanspruchung des Dickfilms, vereitelt werden. Demzufolge sind zu dünne Substrate oder zu dicke Filme nicht zum Herstellen eines komplexen Wafers geeignet.

Probe ⑩ ist aus einem sehr großen (8 inch) (100)-Silizium-Monokristall-Wafer ($t = 1 \text{ mm}$) und einem sehr dünnen Diamant mit einer Dicke von $2 \mu\text{m}$ aufgebaut. Probe ⑩ ist durch die Größe des Substrats und die Dünne des Films gekennzeichnet. Die Oberfläche ist glatt genug ($R_{\text{max}} 0,15 \mu\text{m}$ und $R_{\text{a}} 0,05 \mu\text{m}$). Allerdings ist die Deformierung sehr groß ($H = +200 \mu\text{m}$) in einer konkaven Form. Der Film ist dünn, allerdings ist der Wafer zu groß. Auch besitzt die Probe ⑩ eine große Deformierungs-Höhe.

Probe ⑪ schlägt einen extrem dicken Diamantfilm ($1000 \mu\text{m}$) auf einem LiNbO₃-Wafer mit einer Dicke von 3 mm nieder. Probe ⑪ ist durch den dicken Film und das dicke Substrat gekennzeichnet. Die Oberfläche ist sehr zerklüftet mit einer großen Rauigkeit von

$R_{max} 100 \mu m$ und $Ra 40 \mu m$. Das Substrat ist gebrochen. Eine starke, innere Spannung des Films kann das Substrat zerstören. Probe ⑪ kann nicht poliert werden. Dieses Ergebnis bedeutet, daß zu dicke Filme für einen komplexen Wafer ungeeignet sind.

Probe ⑫ nimmt einen GaAs-Wafer mit 3 Inch als ein Substrat und bildet einen c-BN-Film mit $30 \mu m$ auf dem GaAs-Wafer. Die Deformierung ist 0 ($H = 0 \mu m$). Dies ist ein flacher Wafer. Das Nichtauftreten einer Deformierung kann aus der Ähnlichkeit der thermischen Expansionskoeffizienten zwischen GaAs und Diamant folgen. Weiterhin ist die Oberfläche glatt ($R_{max} 2,1 \mu m$ und $Ra 0,9 \mu m$). Demzufolge scheint Probe ⑫ ein sehr guter, komplexer Wafer aufgrund der Flachheit und der geringen Rauigkeit zu sein. Die Erwartung wird später betrachtet werden.

Ein Film aus hartem Material, angewachsen durch das Dampfphasen-CVD-Verfahren, besitzt eine zerklüftete Oberfläche mit einer großen Rauigkeit im allgemeinen. Elektronische Vorrichtungen können nicht auf der zerklüfteten Oberfläche durch die Fotolithographie hergestellt werden, da die große Rauigkeit die Transkription durch das Licht durch Streuung, durch Reflektion oder durch Brechung der Lichtstrahlen stören würde. Ein Polieren ist für die zerklüfteten, nach dem CVD-Verfahren hergestellten harten Filme unerlässlich, um die komplexen Wafer durch den Waferprozeß zu behandeln.

Allerdings sind herkömmliche Poliermaschinen, die zum Polieren von flachen Siliziumwafern oder flachen Galliumarsenidwafern verwendet worden sind, zum Polieren eines deformierten Wafers ungeeignet. Frühere Maschinen sind nur für flache Gegenstände geeignet, da der Halter flach ist und der Polierdrehtisch auch flach ist. Wenn deformierte Wafer durch die herkömmlichen Maschinen poliert werden, verbleiben Umfangsbereiche oder Zwischenbereiche unpoliert, gerade wenn der Halter den Wafer auf den Drehtisch mit einer starken Kraft drückt.

Eine spezielle Poliermaschine und ein neues Polierverfahren sind zum Behandeln der deformierten Wafer erforderlich. Diese spezielle Poliermaschine ist für die deformierten Filme aus hartem Material geeignet. Die Filme aus hartem Material auf den Substraten der Proben ① bis ⑧, Probe ⑩ und Probe ⑫ sind mechanisch durch die spezielle Maschine poliert worden. Das Polieren reduziert die Rauigkeit der Filme und ändert die Deformierung der Wafer. Dann werden die Rauigkeit und die Deformierung erneut für die Proben nach dem Polieren gemessen. Einige Proben können nicht perfekt aufgrund der konkaven Deformierung oder der welligen Form poliert werden. Dann wird das Verhältnis des po-

lierten Teils zu der Gesamtheit auch gemessen. Die Rauhgigkeit wird durch das Polieren reduziert. Die Deformierung erhöht sich entweder durch das Polieren oder erniedrigt sich dadurch. Gewöhnlich verringert das Polieren die Deformierung.

Da das Polierverfahren und die Vorrichtung gegenüber dem Fall eines Polierens von Si- oder GaAs-Wafern unterschiedlich sind, wird die Struktur der Maschine zuerst erläutert. Fig. 11. zeigt die Poliermaschine, die Wafer polieren kann, die Deformierungen besitzen. Fig. 12 zeigt einen vergrößerten Schnitt des Halters.

Ein Drehtisch (41) ist durch eine Drehwelle (42) getragen und wird dadurch angetrieben. Der Drehtisch (41) ist ein Diamantschleifstein. Da der Drehtisch (41) beim Schleifen von harten Filmen unterstützt, muß der Drehtisch (41) mit Diamantpulver auf der Oberfläche abgedeckt werden. Die Diamantkörner auf der Oberfläche des Drehtischs (41) polieren den Gegenstand, indem sie sich selbst abschleifen. Es dauert einige zehn bis hundert Stunden. Ein elastischer Puffer (11) (z. B. eine Gummischeibe) ist auf den Boden des Halters (3) aufgeklebt. Der komplexe Wafer (2) ist an dem Puffer (11) befestigt. Die Benutzung des Puffers ist eine der Einrichtungen. Eine Hauptwelle (4) ist mit der Mitte des Halters (3) verbunden. Die Hauptwelle (4) überträgt eine axiale Kraft (Druck) und ein Drehmoment auf den Halter (3). Allerdings ist der Halter (3) nicht an der Welle (4) fixiert. Die Welle (4) ermöglicht dem Halter, sich in irgendeiner Richtung innerhalb eines bestimmten Bereichs zu neigen. Der Halter (3) dreht sich um seine Achse (eine Normale an der Mitte), die sich manchmal von der Welle (4) unterscheidet. Der Winkel zwischen der Achse und der Welle wird als Neigungswinkel oder als Schrägstellungswinkel bezeichnet. Der Drehtisch (Scheibenschleifstein) (1) dreht sich um die Drehwelle (21).

Eine Hilfswelle (10) drückt auf einen Punkt auf dem Halter (3). Ein Arm (6) hält die oberen Enden der Hauptwelle (4) und der Hilfswelle (10). Ein Öldruckzylinder (5) ist auf dem Arm (6) zum Aufbringen eines starken Drucks auf die Halterwelle (4) befestigt. Der Wafer wird auf das Diamantpulver auf dem Drehtisch durch die starke Kraft von der Hauptwelle (4) gedrückt. Das Diamantpulver schleift den harten Film des Wafers, indem es sich selbst verbraucht, ab. Der Druck erhöht die Abrasion des Films ebenso wie den Verbrauch des Diamantpulvers, das an dem Scheibenschleifstein (1) befestigt ist.

Ein Motor (7) ist auf dem Arm (6) für eine Drehung der Halter-Welle (4) befestigt. Das Drehmoment des Motors (7) wird von der Abtriebswelle (15) des Motors über eine Riemenscheibe (16) und über einen Antriebsriemen (8) auf die Riemenscheibe (17) der

Hauptwelle (4) übertragen. Die Welle (4) dreht den Halter (3) um die eigene Achse, die eine Normale an der Mitte ist und zu der Hauptwelle (4) unterschiedlich ist. Ein Öldruckzylinder (9) ist auf dem Arm (6) zum Aufbringen einer großen Kraft auf die Hilfswelle (10) befestigt. Eine kreisförmige Nut (13) ist auf der oberen Oberfläche des Halters (3) eingelassen. Das Bodenende der Hilfswelle (10) drückt die Nut (13).

Die Hauptwelle (4) ist mit dem Halter (3) in einer Art und Weise verbunden, die die axiale Kraft und die Drehung von der Hauptwelle auf den Halter überträgt, allerdings eine relative Neigung des Halters (3) zu der Welle (4) ermöglicht. Die Vorspannkraft der Hilfswelle (10) neigt den Halter (3) zu dem Drehtisch (1). Die Neigung ist durch den Neigungswinkel zwischen der Hauptwelle (4) und einer Normalen (Drehachse) des Halters (43) dargestellt.

Der Neigungswinkel hängt von der Kraft der Hilfswelle (10) ab. Die konvexe Deformierung des Wafers (2) erleichtert eine leichte Neigung des Halters (3). Der Kontaktpunkt des Wafers (45) mit dem Drehtisch (41) wird durch den Neigungswinkel variiert. Demzufolge kann der Kontaktpunkt durch Anordnen der Kräfte zwischen der Hauptwelle (4) und der Hilfswelle (10) kontrolliert werden. Die gesamte Oberfläche kann vollständig durch Bewegen entweder des Kontaktpunkts von der Mitte zu dem Umfang oder von dem Umfang zu der Mitte des Wafers poliert werden.

Wie zuvor erläutert ist, kann ein mit einem harten Material beschichteter Wafer nicht vollständig durch herkömmliche Maschinen poliert werden, die einen Halter besitzen, der an der Hauptwelle fixiert ist. Einige Bereiche verbleiben unpoliert. Wenn die Wafer durch die herkömmliche Maschine für eine extrem lange Zeit behandelt wurden, konnten unpolierte Teile erhalten werden. Allerdings wurden, falls dies der Fall war, andere Teile des Films abgenutzt und das Substrat erschien dort. Die Probleme der herkömmlichen Maschinen werden nun unter Bezugnahme auf die Fig. 13 bis Fig. 15 verdeutlicht. Die Zustände von Wafers nach dem Polieren hängen von den Zuständen der Wafer nach der Synthese ab. (1) Fall eines flachen Wafers (Fig. 13): Man kann einen flachen Wafer nach der Synthese des Films als in einen flachen Spiegelwafer poliert behandeln. Allerdings ist die Wahrheit anders. Der flache Wafer leidet unter zufälliger Verteilung von nicht polierten Teilen. Fig. 13 zeigt die Dispersion der nicht polierten Bereiche an. Die nicht polierten Teile sind zerklüftet und scheinen stumpf zu sein, da Licht zufällig gestreut und schwach reflektiert wird. Eine Beobachtung mit dem Auge kann leicht nicht polierte Teile von dem polierten Hinter-

grundbereich unterscheiden. Demzufolge ist ein flacher Wafer, wenn er synthetisiert ist, für ein Polieren ungeeignet. Dies ist ein unerwartetes Ergebnis:

(2) Fall eines konkav deformierten Wafers (Fig. 14; $H > 0$): Der zentrale Teil und der Umfang sind poliert. Ein ringförmiger, nicht polierter Teil verbleibt unpoliert in dem mittleren Bereich.

(3) Fall eines konvex deformierten Wafers (Fig. 15; $H < 0$): der zentrale Teil und der Zwischenteil sind poliert. Ein Umfang verbleibt unpoliert.

In jedem Fall sind die herkömmlichen Maschinen nicht für ein Spiegelglanzpolieren von Wafers aus hartem Material kompetent.

Im Gegensatz dazu kann die vorliegende Vorrichtung den gesamten Wafer durch Anpassen eines Halters, der für eine Schrägstellung der Welle geeignet ist; und eines Wafers mit einer konvexen Form ($H < 0$) polieren. Die gesamte Oberfläche ist durch die Maschine spiegelglanzpoliert (Fig. 11 und Fig. 12). Das Ergebnis des Polierens ist nicht in den Figuren angegeben, da die gesamte Oberfläche spiegelpoliert ist. Dann werden Proben 1 bis 12 durch die Maschine, dargestellt in Fig. 11 und Fig. 12, poliert. Die Rauigkeit, das Verhältnis des polierten Bereichs zu dem gesamten Bereich und die Deformierungshöhe werden gemessen. Tabelle 3 gibt die Ergebnisse der Messung an.

Tabelle 3: Rauigkeit (nm), Verhältnis von polierten Teilen (%),
Deformierung (μm) des Wafers aus hartem Material nach einem Polieren.

Nr.	Rauigkeit (nm)		Verhältnis von polierten Teilen (%)	Deformierungs- Höhe H' (μm)
	Rmax	Ra		
1	8	1	100 % poliert	-14
2	10	2	100 % poliert	-0,48
3	40	8	100 % poliert	-139
4	5	0,4	100 % poliert	-30
5	1	0,3	100 % poliert	-5
6	3	0,6	100 % poliert	-50
7	50	20	100 % poliert	-5
8	1	0,3	100 % poliert	-50
9	Nicht poliert, da Substrat gerissen ist			
10	70		50 % nicht poliert	-200
11	Nicht poliert, da Substrat gebrochen ist			
12	100	40	10 % nicht poliert	0

(Sei vorsichtig mit der Einheit (nm) der Rauigkeit. $1000 \text{ nm} = 1 \mu\text{m}$)

(Probe 9 und 10 sind nicht poliert, aufgrund von Rissen oder Bruch, verursacht bei der Synthese)

Die Rauigkeit der Proben nach einem Polieren reicht von $R_{\text{max}}1 \text{ nm}$ bis $R_{\text{max}}100 \text{ nm}$ und von $R_{\text{a}}0,3 \text{ nm}$ bis $R_{\text{a}}40 \text{ nm}$. Es sollte angemerkt werden, daß die Einheiten der Deformierung zwischen den vorpolierten Wafern und den nachpolierten Wafern unterschiedlich sind. Tabelle 2 für die vorpolierten Proben verwendet „ μm “, um die Rauigkeit auszudrücken. Tabelle 3 für nachpolierte Wafer wendet „nm“ zum Kennzeichnen der Rauigkeit an. Fig. 5 stellt einen vereinfachten Schnitt des polierten Wafers dar.

Probe ① die eine Zwischenrauigkeit vor einem Polieren besaß, reduziert die Rauigkeit auf $R_{\text{max}}8 \text{ nm}$ und $R_{\text{a}}1 \text{ nm}$. Die Deformierung ist $-14 \mu\text{m}$, ähnlich zu dem Vorpolierwert. Probe ② hatte einen Zwischenwert einer Rauigkeit. Die Nachpolierrauigkeit von Probe ② beträgt $R_{\text{max}}10 \text{ nm}$ und $R_{\text{a}}2 \text{ nm}$. Dies ist eine Zwischenrauigkeit, die ermöglicht, Mu-

ster von Masken auf den Resist auf dem Wafer durch Fotolithographie zu übertragen. Die Fotolithographie erfordert eine Rauigkeit von weniger als $R_{\max} 50 \text{ nm}$ und $R_a 20 \text{ nm}$. Die Deformierung beträgt $-48 \text{ } \mu\text{m}$, was geringfügig zu dem Vorpolierwert ($-50 \text{ } \mu\text{m}$) unterschiedlich ist.

Probe ③, die eine große Rauigkeit vor einem Polieren hatte, besaß eine Nachpolier-Rauigkeit von $R_{\max} 40 \text{ nm}$ und $R_a 8 \text{ nm}$. Eine große Vorpolier-Rauigkeit bringt eine große Nachpolier-Rauigkeit im allgemeinen mit sich. Die Deformierung wird geringfügig von $-150 \text{ } \mu\text{m}$ zu $-139 \text{ } \mu\text{m}$ nach einem Polieren geändert.

Probe ④, die ein GaAs-Substrat und einen Diamantfilm mit einer geringen Rauigkeit besaß, war mit einer ziemlich kleinen Rauigkeit von $R_{\max} 5 \text{ nm}$ und $R_a 0,4 \text{ nm}$ behaftet, was weitaus niedriger als die kritischen Werte von $R_{\max} 50 \text{ nm}$ und $R_a 20 \text{ nm}$ ist. Die Deformierung beträgt $-30 \text{ } \mu\text{m}$, die gleich zu dem Vorpolierwert ist.

Probe ⑤ hatte ein AlN-Substrat und einen diamantähnlichen Kohlenstoff-Film mit einer sehr kleinen Rauigkeit vor einem Polieren. Die Rauigkeit wird auf $R_{\max} 1 \text{ nm}$ und $R_a 0,3 \text{ nm}$ reduziert. Dies ist eine sehr glatte, spiegelglanzpolierte Oberfläche.

Probe ⑥ ist ein Beispiel, das einen c-BN-Film anwächst. Die Rauigkeit ist klein genug ($R_{\max} 1600 \text{ nm}$, $R_a 500 \text{ nm}$). Das Polieren verringert die Rauigkeit auf $R_{\max} 3 \text{ nm}$ und $R_a 0,6 \text{ nm}$, was zufriedenstellende Werte sind. Die Deformierung beträgt $-50 \text{ } \mu\text{m}$, sowohl für ein Vorpolieren als auch für ein Nachpolieren.

Probe ⑦ ist ein Beispiel zum Bilden eines Diamantfilms mit $100 \text{ } \mu\text{m}$ auf einem LiTaO_3 -Substrat. Ein zu dicker Film verschlechtert die Oberflächenmorphologie. Eine große Vorpolierrauigkeit ($R_{\max} 7000 \text{ nm}$, $R_a 4200 \text{ nm}$) verursacht eine große Nachpolierrauigkeit von $R_{\max} 50 \text{ nm}$ und $R_a 20 \text{ nm}$, was gleich zu dem kritischen Wert für die Anwendung einer Fotolithographie ist. Die Deformierung ($-5 \text{ } \mu\text{m}$) wird ungeachtet des Polierens konstant gehalten.

Probe ⑧ ist ein Quarzsubstrat mit 4 Inch und mit einem dünnen Diamant-Film ($5 \text{ } \mu\text{m}$). Dies ist ein glatter Film ($R_{\max} 300 \text{ nm}$, $R_a 100 \text{ nm}$). Das Polieren verringert die Rauigkeit auf $R_{\max} 1 \text{ nm}$ und $R_a 0,3 \text{ nm}$.

Probe ⑨, die Risse auf dem Wafer aufgrund eines zu dicken Films besaß, konnte nicht poliert werden. Probe ⑩ hatte eine zufriedenstellende, geringe Glattheit ($R_{\max} 150 \text{ nm}$ und $R_a 50 \text{ nm}$), allerdings eine konkave Deformierung von $+200 \text{ } \mu\text{m}$ vor einem Polieren. Da die Rauigkeit klein ist, wird erwartet, daß das Polieren weiterhin die Rauigkeit verringern

würde. Allerdings ist dies tatsächlich anders. Die Nachpolierrauhigkeit beträgt $R_{\max} 70 \text{ nm}$ und $R_{\text{a}} 25 \text{ nm}$, was außerhalb des Umfangs der Anwendung einer Fotolithographie liegt. Das Polieren schlägt fehl, um einen glatten Wafer herzustellen. Weiterhin beläßt Probe ⑩ 50 % der Oberfläche unpoliert. Warum ist das Polieren so inaktiv bei ⑩ mit geringer Deformierung? Dies wird durch die große, konkave Deformierung bewirkt. Die konkave Deformierung verhindert, daß konkave Bereiche in Kontakt mit dem Drehtisch trotz eines starken Drucks, der von der Hauptwelle aufgebracht wird, treten. Probe ⑩ verdeutlicht, daß der Modus einer Deformierung ($H < 0$ oder $H > 0$) einen großen Einfluß auf das Polieren hat.

Probe ⑫, die einen c-BN-Film auf einem GaAs-Substrat angewachsen besaß, besaß eine geringe Rauigkeit von $R_{\max} 2,5 \mu\text{m}$ und $R_{\text{a}} 0,9 \mu\text{m}$. Die Rauigkeit beträgt noch $R_{\max} 100 \text{ nm}$ und $R_{\text{a}} 40 \text{ nm}$ nach dem Polieren. 10 % der Oberfläche verbleibt unpoliert. Ein komplexer Wafer von $H=0$ besitzt eine wellige Deformation mit mikroskopischen konvexen und konkaven Ausbildungen. Dann werden die nicht polierten Bereiche unter einem Zufall nach dem Polieren verteilt. Allgemein kann das Polieren die Rauigkeit auf ungefähr 1/100 bis 1/30 in dem Fall einer geeigneten, konvexen Deformierung reduzieren. Die Deformierung H wird leicht auf H' durch das Polieren erniedrigt, allerdings wird der Modus (Vorzeichen von H) einer Deformierung beibehalten.

Dann wird ein Aluminiumfilm auf die harten Filme aufgedampft, und zwar bis zu einer Dicke von 150 nm , wie in Fig. 6 dargestellt ist. Kammförmige Elektroden werden auf den harten Filmen durch Ätzen des Al-Films selektiv durch Fotolithographie gebildet. Die kammförmigen Elektroden werden als interdigitale Transducer bezeichnet, die typische Elektroden für oberflächenakustische Wellenvorrichtungen (SAW) sind. Die Linienbreite der Al-Elektroden wird von $0,6 \mu\text{m}$ bis $2 \mu\text{m}$ variiert. Zerklüftetheit des Films besitzt eine Tendenz zum Durchschneiden der schmalen Drähte. Der Ertrag in Bezug auf ein Drahtdurchschneiden wird für alle Proben abgeschätzt. Tabelle 4 listet die Linien- beziehungsweise Leitungsbreite und den Ertrag gegenüber einem Drahtdurchschneiden auf.

Tabelle 4: Breite und Ertrag gegenüber einem Drahtdurchschneiden von Aluminiumelektroden, gebildet auf hartem Film durch Verdampfen und Fotolithographie

Nr.	Breite der Aluminiumelektroden (μm)	Ertrag gegenüber einem Drahtdurchschneiden (%)
1	1	98 %
2	0,8	96 %
3	1,2	97 %
4	1,5	95 %
5	0,6	94 %
6	1	99 %
7	0,8	94 %
8	2	97 %
9	Polieren und Elektrodenbildung sind aufgrund von Rissen, die bei der Synthese auftreten, unmöglich	
10	1	3 %
11	Polieren und Elektrodenbildung sind; aufgrund eines Bruchs des Wafers in der Synthese, unmöglich	
12	0,6	15 %

Probe ①, die einen 30 μm dicken Diamantfilm auf einem (100) Si-Wafer mit 2 Inch angewachsen besitzt, zeigt einen Ertrag von 98 % für das Elektrodenmuster für eine Linienbeziehungswise Leitungsbreite von 1 μm . Dies ist ein zufriedenstellendes Ergebnis.

Probe ②, die einen 50 μm dicken Diamantfilm auf einem (111) Si-Wafer mit 4 Inch besitzt, zeigt einen Ertrag von 96 % für die Elektroden einer Linienbreite von 0,8 μm . Dieses Ergebnis zeigt die Möglichkeit der Herstellung von Submikron-Verdrahtungsmustern mit einem ausreichend hohen Ertrag.

Probe ③, die einen 100 μm dicken Diamantfilm auf einem Polysilizium-Wafer mit 8 Inch aufgebaut besitzt, zeigt einen Ertrag von 97 % für das Elektrodenmuster mit einer Linienbreite von 1,2 μm . Dies ist ein zufriedenstellendes Ergebnis.

Probe ④, die einen GaAs-Wafer mit 1 Inch und einen 15 μm dicken Diamantfilm besitzt, zeigt einen Ertrag von 95 % für das Elektrodenmuster mit einer Linienbreite von 1,5 μm . Probe ⑤, die einen AlN-Wafer mit 3 Inch mit einem 5 μm dicken diamantähnlichen Kohlenstoff-Film abgedeckt besitzt, hat eine gute Deformierung ($H = -5 \mu\text{m}$) und eine ausgezeichnete Glattheit von $R_{\text{max}} 1 \text{ nm}$ und $R_{\text{a}} 0,3 \text{ nm}$. Der Ertrag eines Herstellens einer interdigitalen Elektrode von 0,6 μm Linienbreite beträgt 94 %. Dies ist die schmalste Elektrode unter den Proben. Dieses Ergebnis ist für eine solche schmale Linienbreite erstaunlich. Probe ⑥, die einen 30 μm dicken c-BN-Film auf einem LiNbO_3 -Substrat mit 2 Inch mit einer Deformierung von -50 μm bildet, zeigt einen Ertrag von 99 % zum Herstellen einer interdigitalen Elektrode mit einer Linienbreite von 1 μm . Dieses Ergebnis zeigt an, daß eine solche starke Deformierung zuläßt, schmale Verdrahtungsmuster auf dem Film herzustellen. Weiterhin zeigt diese Probe die Möglichkeit eines Herstellens eines guten Wafers auch aus c-BN.

Probe ⑦, die einen 100 μm dicken Diamantfilm auf einem LiTaO_3 -Substrat mit 5 Inch herstellte, besaß eine schlechte Glattheit mit $R_{\text{max}} 50 \text{ nm}$ und $R_{\text{a}} 20 \text{ nm}$. Der Ertrag der Herstellung von Elektrodenmustern mit einer Linienbreite von 0,8 μm beträgt allerdings 94 %. Dies ist ein zufriedenstellendes Ergebnis.

Probe ⑧, die aus einem Quarzsubstrat aus 4 Inch und einem 5 μm dicken Diamantfilm besteht, besaß einen Film mit einer guten Glattheit, allerdings einer großen Deformierung von -50 μm . Wenn kammförmige Elektroden mit einer Linienbreite von 2 μm auf dem Film hergestellt werden, ist der Ertrag 97 % trotz einer beträchtlich großen Deformierung von -50 μm .

Alle diese Ausführungsformen zeigen einen hohen Ertrag von mehr als 90 %. Die Ausführungsformen sind nämlich gegen einen Durchbruch von Linien immun. Dies kommt daher, daß die Filme eine glatte Oberfläche ohne konvexe oder konkave Stellen haben. Weiterhin belassen alle Ausführungsformen keine unpolierten Teile. 100 % der Oberfläche ist perfekt für alle Ausführungsformen poliert. Dies bedeutet, daß gute SAW-Vorrichtungen aus den komplexen Wafern dieser Erfindung mit einem hohen Ertrag hergestellt werden können. Da es die komplexen Wafer ermöglichen, schmale Elektrodenmuster herzustellen, können verschiedene Vorrichtungen aus Wafern mit hartem Material diese Erfindung durch die Technik der Fotolithographie hergestellt werden, wenn die Wafer als Substrat-Wafer zum Herstellen von Halbleitervorrichtungen verwendet werden.

Probe ⑨, ein Vergleichsbeispiel, konnte nicht poliert werden, da das Substrat während der Synthese riß. Probe ⑪ konnte auch nicht poliert werden, da sie während der Synthese brach.

Probe ⑩, die einen 2 µm dicken Diamantfilm auf einem (100) Si-Wafer mit 8 Inch bildete, besaß eine ausgezeichnete Glattheit, sogar nach der Filmbildung. Allerdings besaß Probe ⑩ eine schlechte Glattheit von $R_{max} 70 \text{ nm}$ und $R_a 25 \text{ nm}$ nach einem Polieren. 50 % der Oberfläche verbleibt unpoliert. Die schlechte Eigenschaft leitet sich vielleicht von der großen, konkaven Deformierung von +200 µm ab. Wenn die interdigitalen Elektroden auf dem polierten Teil gebildet werden, beträgt der Ertrag nur 3 %. Die Probe ⑩ ist ungeeignet um Elektrodenmuster zu bilden. Dies wird durch die konkave Deformierung und durch das nicht perfekte Polieren verursacht.

Probe ⑫, die einen 30 µm dicken c-BN-Film auf einem GaAs-Wafer mit 3 Inch niedergeschlagen besaß, hatte keine Deformierung. Obwohl die Deformierung 0 ist, besaß sie keine wellige Deformation. Demzufolge kann Probe ⑫ nicht glatt aufgrund der welligen Deformation poliert werden. Probe ⑫ leidet unter einer schlechten Nachpolierrauhigkeit von $R_{max} 100 \text{ nm}$ und $R_a 40 \text{ nm}$. 10 % der Oberfläche verbleibt unpoliert. Der Ertrag beträgt 15 %, wenn ein Elektrodenmuster von einer Breite mit 0,6 µm auf dem polierten Teil hergestellt wurde. Dies liegt jenseits der praktischen Verwendbarkeit. Dieses schlechte Ergebnis resultiert aus der Schwierigkeit beim Polieren.

Europäische Patentanmeldung Nr.: 95 302 845.3-1262

Anmelder: Sumitomo Electric Industries, Ltd.

Patentansprüche:

1. Wafer, der mit einem harten Material beschichtet ist, der ein deformiertes Substrat und einen Film aus einem harten Material, das eine Vickershärte von mehr als Hv3000 besitzt, der auf zumindest einer Oberfläche des Substrats durch ein CVD-Verfahren hergestellt worden ist, hat, dadurch gekennzeichnet, daß
die gesamte Dicke des Wafers in dem Bereich von 0,1mm bis 2,1mm liegt;
der Durchmesser des Wafers größer als 25mm ist;
mehr als 50 % des Films zu einer Rauigkeit geringer als $R_{max}50nm$ und $Ra20nm$ poliert ist; und
der Wafer in eine konvexe Form auf der Filmseite mit einer Deformierungshöhe (H) in dem Bereich $-150\mu m$ bis $-2\mu m$ deformiert ist.
2. Wafer mit einer Beschichtung aus einem harten Material nach Anspruch 1, wobei der Wafer kreisförmig ist und monoton von der Mitte zu dem Umfang in die konvexe Form auf der Filmseite deformiert ist.
3. Wafer mit einer Beschichtung aus einem harten Material nach Anspruch 2, wobei das Verhältnis (T_1/T_2) der Filmdicke (T_1) zu der Substratdicke (T_2) in dem Bereich von 0,05 bis 1 liegt, die Substratdicke (T_2) in dem Bereich von 0,1mm bis 2mm liegt und die Filmdicke (T_1) in dem Bereich von 0,002mm bis 0,2mm liegt.
4. Wafer mit einer Beschichtung aus einem harten Material nach Anspruch 3, wobei das harte Material entweder Diamant, diamantähnlicher Kohlenstoff oder c-BN ist.
5. Wafer mit einer Beschichtung aus einem harten Material nach Anspruch 4, wobei das Substrat ein Polykristall oder ein Einkristall aus Si, GaAs, GaP, AlN, SiC, Si_3N_4 , $LiTaO_3$, $LiNbO_3$, $Li_2B_4O_7$, $PbTiO_3$, PZT($PbZrO_3$ - $PbTiO_3$) oder Quarz ist.
6. Wafer mit einer Beschichtung aus einem harten Material nach Anspruch 5, wobei das Substrat ein (100) Si-Einkristall ist.
7. Wafer mit einer Beschichtung aus einem harten Material nach Anspruch 5, wobei mehr als 50% des Films von der Mitte zu dem Umfang hin zu einer Rauigkeit geringer als $R_{max}50nm$ und $Ra20nm$ poliert ist.

8. Verfahren zum Herstellen eines mit einem harten Material beschichteten Wafers (2), das die Schritte aufweist:

Bilden eines Films aus hartem Material mit einer Vickershärte von mehr als Hv3000 auf einem Substrat, der auf mindestens einer Oberfläche des Substrats durch ein CVD-Verfahren hergestellt worden ist, und Polieren der Oberfläche der Filme, dadurch gekennzeichnet, daß die gesamte Dicke des Wafers in dem Bereich von 0,1 bis 2,1mm liegt, der Durchmesser des Wafers größer als 25mm ist und der Wafer in eine konvexe Form auf der Filmseite mit einer Deformierungshöhe in dem Bereich von $-2\mu\text{m}$ bis $-150\mu\text{m}$, gemessen in der Mitte von einer Ebene, die den Umfang des Substrats einschließt, deformiert wird; und das Verfahren umfaßt

Fixieren der Substratoberfläche des Wafers (2) an einem Halter (3) einer Poliermaschine, die einen Schleifsteindrehtisch (1) besitzt;

Drehen des Halters (3) um dessen Achse;

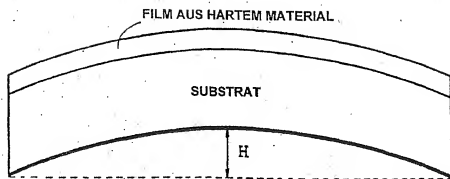
Drehen des Drehtischs (1) um dessen Welle;

Neigen der Oberfläche des Halters (3) relativ zu dem Drehtisch (1); und

Polieren der konvexen Oberfläche des Films (2) entweder von der Mitte zu dem Umfang hin oder von dem Umfang zu der Mitte hin, so daß mehr als 50% des Films zu einer Rauigkeit geringer als $R_{\text{max}}50\text{nm}$ und $R_{\text{a}}20\text{nm}$ poliert wird.

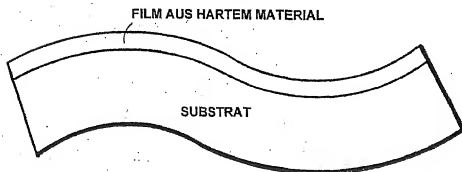
9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei der Film zu einer Rauigkeit geringer als $R_{\text{max}}50\text{nm}$ und $R_{\text{a}}20\text{nm}$ poliert wird.

Fig.1



KONVEXE DEFORMIERUNG $H < 0$

Fig.2



WELLIGER WAFER

Fig.3

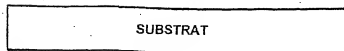


Fig.4

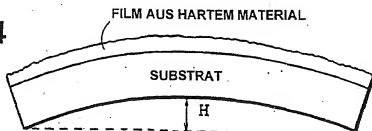


Fig.5 POLIEREN

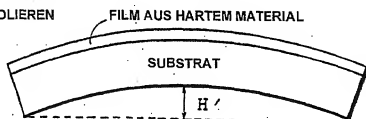


Fig.6

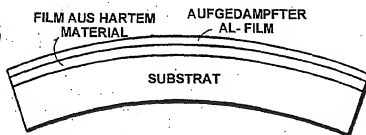


Fig.7

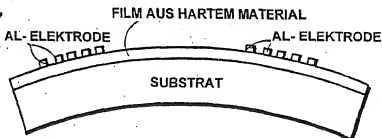


Fig.8

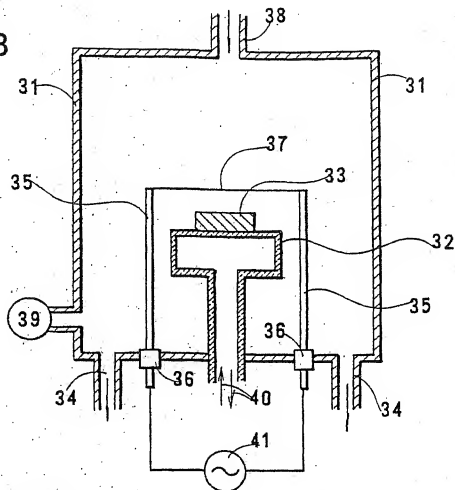


Fig.9

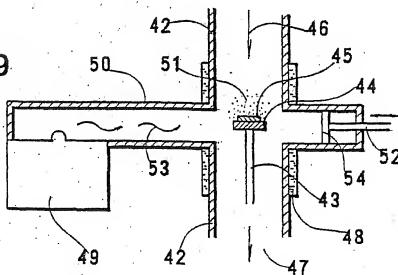


Fig.10

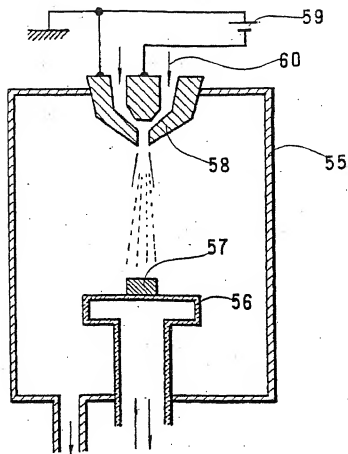


Fig.11

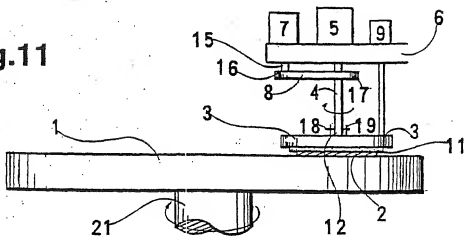


Fig.12

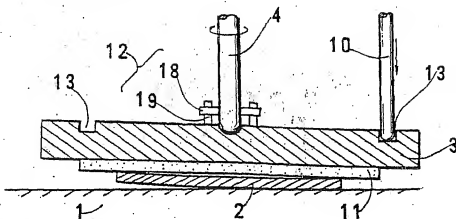


Fig.13

WAFER NACH POLIEREN
FLACHER WAFER

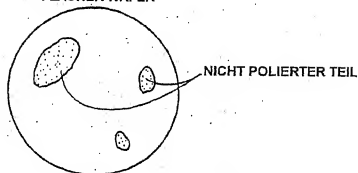


Fig.14

WAFER NACH POLIEREN
KONKAV DEFORMIERTE WAFER

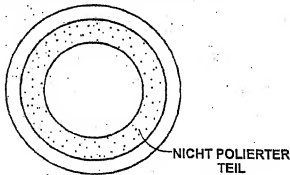


Fig.15

WAFER NACH POLIEREN
KONVEX DEFORMIERTE WAFER

